电磁兼容及系统整机测试技术

尚开明 主编



电子工业出版社

电磁兼容及系统整机测试技术

尚开明　主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书主要分两部分介绍测试的相关技术。第一部分是硬件测试的相关技术；第二部分是软件测试的相关技术。硬件测试技术介绍了常见的硬件测试项目，说明测试标准及方法；软件测试技术主要从测试计划、测试用例的设计和测试的规划上着手进行分析，通过对 BUG 的分析和阐述，正确规避风险，并对风险进行分析，最终形成财富库，供测试人员共享。全书内容全面，通俗易懂，部分章节设置测试实例，帮助读者理解测试技术，使之受到启发，从而在工作中有针对性地进行产品设计。

无论是测试技术的初学者，还是有一定基础的高级用户，本书都可以作为参考。本书非常适合测试专业及测试行业的工程技术人员使用，也适合产品设计人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

电磁兼容及系统整机测试技术/尚开明主编. —北京：电子工业出版社，2013.11

ISBN 978-7-121-21581-0

Ⅰ. ①电… Ⅱ. ①尚… Ⅲ. ①电磁兼容性－研究②系统测试－测试技术－研究 Ⅳ. ①TN03②TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 231778 号

策划编辑：王敬栋

责任编辑：周宏敏　　文字编辑：张　迪

印　　刷：

装　　订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编 100036

开　　本：787×1 092　1/16　印张：16.25　字数：416 千字

印　　次：2013 年 11 月第 1 次印刷

印　　数：4 000 册　　定价：48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

FOREWORD 前言

产品交付之前，都是需要进行测试的。也许是由负责设计的人员进行，也许是由专门的测试人员进行，测试是产品进入市场的最后一道关口。如何使产品稳定可靠地运行，如何使产品满足用户需要，这都需要通过测试来验证。

测试一般分为硬件测试和软件测试。硬件测试主要测试产品的各种性能，如环境性能、产品的抗干扰性能等；软件测试主要测试产品的功能，测试产品是否满足用户需求，用户使用起来是否方便，是否提高了用户的效率等。

本书第一部分主要介绍硬件测试技术，通过对硬件测试中常见的测试项目进行分类，按照产品认证的划分，说明测试方法及标准，以及常见的处理措施；第二部分软件测试技术，从测试计划和测试用例的设计入手，全面系统地介绍了如何设计全面的测试用例，介绍了测试执行与结论相关的技术，由浅入深，最后介绍了文档管理、缺陷管理、风险管理、财富库等最新的测试理论。

本书的特点

1. 语言朴实，通俗易懂

以一个测试人员的角度介绍，没有难于理解的词汇，都是工作中接触到的，易于理解。

2. 结构合理，内容全面、系统

本书涵盖了硬件测试及软件测试的主要内容，内容全面、具体详尽、系统。

3. 叙述翔实，实例丰富

本书中配有实例解析，都是测试中容易出现问题的案例，具有针对性。

4. 继承传统，观点新颖

本书继承了传统测试的精华，融入了现代测试思想，站在测试的前沿。

本书内容体系

本书共 15 章，分为两部分，各部分对应的章节和具体内容介绍如下。

第一部分包括 1～7 章，主要介绍硬件测试技术，包括环境测试、绝缘测试、电磁兼容测试、雷电防护测试、常温性能测试等技术，通过测试，了解产品的全部性能。

第二部分包括 8～15 章，主要介绍软件测试技术，从测试计划和测试用例的设计入手，介绍测试规划和测试策略方面的内容。测试离不开测试缺陷管理，本书中融入了当前最新的

缺陷管理经验。产品的缺陷为产品带来了一定的风险，通过对风险的分析，合理取舍，所有的这些都可以成为财富库中的内容，为以后其他项目或相关人员使用，为公司将节约一大批资源，提高公司的竞争力。

本书由尚开明主编，参加本书编写的还有潘念、师慧平、王斌、王辉、谢俊、李科杰、刘善红、李端、梁美燕、杨继成、齐琪、王智翔、李亚飞。

由于编者水平有限，书中难免出现错误和不妥之处，敬请读者和专家批评指正。

本书读者对象

- 测试技术初学者；
- 想全面、系统地学习测试技术的人员；
- 测试技术爱好者；
- 产品设计开发人员；
- 相关培训学校的学员。

编者

CONTENTS 目录

第 1 章　概述 …… （1）
1.1　测试基础 …… （1）
1.1.1　测试与设计 …… （2）
1.1.2　测试与方法 …… （5）
1.1.3　测试与认证 …… （6）
1.2　测试技术 …… （9）
1.2.1　测试的分类 …… （9）
1.2.2　测试的项目 …… （12）
1.2.3　测试的过程 …… （13）
1.3　测试意义 …… （17）
第 2 章　硬件测试技术 …… （19）
2.1　概述 …… （19）
2.1.1　硬件测试基础 …… （19）
2.1.2　硬件测试分类 …… （20）
2.1.3　硬件测试判据 …… （21）
2.2　硬件测试理论 …… （22）
2.2.1　硬件测试项目 …… （23）
2.2.2　硬件测试标准 …… （26）
2.2.3　硬件测试技术 …… （27）
2.3　小结 …… （30）
第 3 章　环境测试 …… （32）
3.1　概述 …… （32）
3.1.1　环境测试基础 …… （32）
3.1.2　环境测试标准 …… （34）
3.1.3　环境测试方法 …… （34）
3.2　环境测试技术 …… （44）
3.2.1　温湿度测试技术 …… （44）
3.2.2　振动冲击测试技术 …… （46）

3.2.3 防水防尘测试技术……（47）
3.2.4 盐雾测试技术……（49）
3.3 环境测试要点分析……（49）
3.3.1 热设计……（49）
3.3.2 结构设计……（52）
3.4 小结……（54）
第 4 章 绝缘测试……（55）
4.1 概述……（55）
4.1.1 绝缘测试基础……（55）
4.1.2 绝缘测试标准……（57）
4.1.3 绝缘测试方法……（58）
4.2 绝缘测试技术……（60）
4.2.1 绝缘电阻测试……（60）
4.2.2 绝缘耐压测试……（61）
4.2.3 绝缘测试要点……（63）
4.3 绝缘测试整改技巧……（64）
4.4 小结……（64）
第 5 章 电磁兼容测试……（66）
5.1 电磁兼容测试基础……（66）
5.1.1 电磁兼容三要素……（66）
5.1.2 电磁兼容测试标准……（70）
5.1.3 电磁兼容测试方法……（73）
5.2 EMI 测试……（77）
5.2.1 EMI 测试项目……（77）
5.2.2 EMI 测试理论……（78）
5.2.3 EMI 测试整改技巧……（80）
5.3 EMS 测试……（81）
5.3.1 EMS 测试项目……（82）
5.3.2 EMS 测试理论……（82）
5.3.3 EMS 测试整改技巧……（93）
5.4 电磁兼容测试实例解析……（95）
5.5 小结……（99）
第 6 章 雷电防护测试……（101）
6.1 雷电防护测试基础……（101）
6.1.1 雷电的形成与危害形式……（101）
6.1.2 雷电防护标准……（102）
6.1.3 雷电防护测试方法……（104）
6.2 雷电防护技术……（108）

6.2.1 直击雷的雷电防护技术 …… （108）
6.2.2 雷电防护与器件选型 …… （110）
6.2.3 雷电防护与接地技术 …… （114）
6.2.4 雷电防护与屏蔽布线技术 …… （118）
6.2.5 雷电防护与隔离技术 …… （119）
6.2.6 系统雷电电磁脉冲防护及测试 …… （121）
6.3 雷电防护测试实例解析 …… （123）
6.4 雷电防护测试整改技巧 …… （125）
6.5 小结 …… （126）
第 7 章 常温性能测试 …… （128）
7.1 概述 …… （128）
7.1.1 常温性能测试基础 …… （128）
7.1.2 常温性能测试范围 …… （129）
7.1.3 常温性能测试项目 …… （129）
7.2 常温性能测试技术 …… （131）
7.2.1 常温性能测试与需求 …… （131）
7.2.2 常温性能测试与策略 …… （131）
7.2.3 常温性能测试与执行 …… （132）
7.3 常温性能测试技巧 …… （133）
7.4 小结 …… （133）
第 8 章 软件测试技术 …… （134）
8.1 软件测试概述 …… （134）
8.1.1 软件测试的概念 …… （134）
8.1.2 软件测试的原则 …… （135）
8.1.3 软件测试的分类 …… （136）
8.1.4 软件测试的判定 …… （139）
8.2 软件测试技术 …… （141）
8.2.1 软件测试与测试模型 …… （141）
8.2.2 软件测试与测试方法 …… （144）
8.2.3 软件测试与测试策略 …… （146）
8.3 小结 …… （147）
第 9 章 测试计划设计 …… （149）
9.1 概述 …… （149）
9.1.1 测试计划设计基础 …… （149）
9.1.2 测试计划设计依据 …… （151）
9.1.3 测试计划设计意义 …… （152）
9.2 测试计划设计 …… （153）
9.2.1 测试计划的因素 …… （153）

9.2.2 测试计划的策略……（155）
9.2.3 测试计划的要素……（156）
9.3 小结……（158）
第 10 章 测试用例设计……（159）
10.1 概述……（159）
10.1.1 测试用例设计基础……（160）
10.1.2 测试用例设计作用……（161）
10.1.3 测试用例设计依据……（162）
10.2 测试用例设计技术……（164）
10.2.1 测试用例设计与需求……（164）
10.2.2 测试用例设计与方法……（166）
10.2.3 测试用例设计与技巧……（171）
10.2.4 测试的不确定性……（174）
10.3 小结……（175）
第 11 章 测试执行与结论……（177）
11.1 概述……（177）
11.1.1 测试执行与结论基础……（178）
11.1.2 测试执行与测试记录……（179）
11.1.3 测试执行与测试报告……（180）
11.2 测试执行与结论技术……（182）
11.2.1 测试执行与过程……（182）
11.2.2 测试记录与判定……（184）
11.2.3 测试报告与结论……（184）
11.3 小结……（185）
第 12 章 文档管理……（187）
12.1 概述……（188）
12.1.1 测试文档管理基础……（188）
12.1.2 文档的存储与查询……（192）
12.1.3 文档管理的重要性……（193）
12.2 文档管理技术……（194）
12.2.1 测试计划与文档管理……（194）
12.2.2 测试用例与文档管理……（195）
12.2.3 测试记录与文档管理……（197）
12.2.4 测试报告与文档管理……（198）
12.2.5 测试总结与文档管理……（198）
12.3 小结……（199）
第 13 章 缺陷管理……（201）
13.1 概述……（201）

13.1.1 缺陷管理基础……（202）
13.1.2 产品缺陷类型……（207）
13.1.3 缺陷管理作用……（210）
13.2 缺陷管理技术……（211）
13.2.1 缺陷管理流程……（212）
13.2.2 测试缺陷分析……（216）
13.2.3 测试缺陷管理……（217）
13.3 小结……（219）
第 14 章 风险管理……（221）
14.1 概述……（221）
14.1.1 风险管理基础……（222）
14.1.2 风险与管理措施……（225）
14.1.3 风险管理意义……（227）
14.2 风险管理技术……（229）
14.2.1 风险识别……（230）
14.2.2 风险分析……（231）
14.2.3 风险计划……（233）
14.2.4 风险控制……（233）
14.2.5 风险跟踪……（237）
14.3 小结……（237）
第 15 章 财富库建设与管理……（239）
15.1 概述……（239）
15.1.1 财富库建设与管理基础……（240）
15.1.2 财富库建设与管理范围……（241）
15.1.3 财富库建设与管理意义……（242）
15.2 财富库管理技术……（243）
15.2.1 财富库建设……（244）
15.2.2 财富库管理……（246）
15.2.3 财富库使用……（247）
15.3 小结……（248）

第1章

概　述

本章主要介绍测试技术的基础、范围及现实意义。它是与设计并列的一项活动，设计是否满足需求、是否符合标准，需要通过测试来进行验证。

测试是通过测试工具、仪器设备对设备进行干扰或者进行测量，观察电子产品设备能否正常工作，测量的数据是否出现超标。测试还可以是某种操作，观察产品的状态是否与预期结果一致，是否按照设计执行。

测试是通过规定的测试方法，按照标准的布局，对电子产品设备进行功能及性能的验证活动。任何电子产品设备及系统都需要经过相关测试才能投放市场，某些电子产品必须通过认证才能在市场中流通。认证是产品对标准符合性的测试。

测试一般包括多方面的测试，考察电子产品各种性能。从大的方面分，测试可以分为硬件测试与软件测试，每项测试中又可以分为单元测试、集成测试、系统测试。

测试是一项严谨的过程，任何测试都可以找到相关依据，测试又具有可增减性，任何合理的测试思想都可以应用在测试中，对提高电子产品的全面测试有很大的帮助。

测试是产品设计的辅助活动，通过测试发现产品设计缺陷，以促进产品的改进，测试充当着验证的角色，测试产品改进带来的效果。

测试在产品的生命周期中充当着重要的角色，在产品的升级改进阶段发挥着重要的作用，人们逐渐发现测试的重要性。国家通过产品认证，加强产品监管，进而提高产品的质量。

本章节将重点介绍测试所在的阶段、测试与认证的关系、测试的过程及现实意义。

1.1 测试基础

测试与设计有密切的关系，它存在于设计的每个阶段，通过反复测试，使产品满足设计预期，符合用户需求。

每项测试都需要一定的测试方法，为了达到测试的一致性和复现性，某些标准中进行了具体的规定，测试方法是逐渐归纳出来的，代表了设备典型的工作状态及布局。

电子产品认证后才可以进入市场，且产品的认证有一定的流程，其中认证测试是产品认证中的重要环节。

1.1.1 测试与设计

测试活动贯穿于产品设计的各个阶段。产品的设计过程一般包括需求分析、概要设计、详细设计、功能实现、功能验证、试运行、市场推广、市场维护等阶段，每个阶段都有相关的测试活动。设计阶段与测试的对应关系如图 1.1 所示。

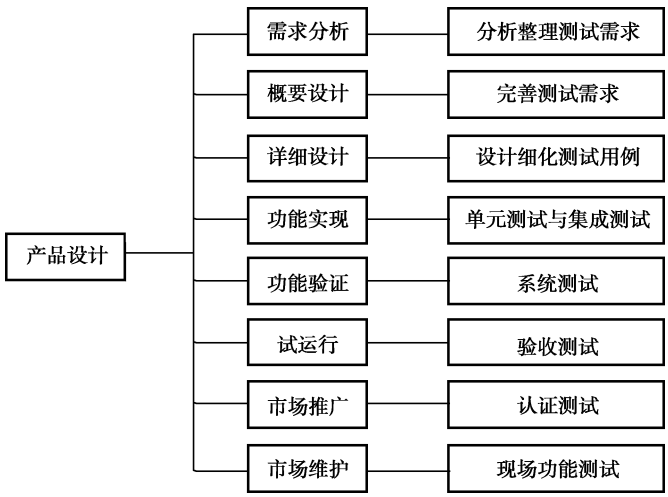


图 1.1　设计阶段与测试的对应关系

1. 需求分析

需求分析阶段是电子产品需求的搜集阶段，需要对各方面的需求进行分解与归纳，主要包括用户需求、现场需求、行业需求和地域需求等。

（1）用户需求是指最终用户的需求，是最基本的需求。任何产品都是服务于客户的，用户需求有显性需求及隐形需求。显性需求是比较容易分析出来的；隐性需求需要综合各方面的因素（如操作规范、用户习惯、流程等）才能分析出来。

（2）现场需求包括现场的环境条件、其他设备特征及分布情况，以及电源、与其他系统接口，现场需求是需要对现场进行调研，通过现场的数据分析出来的。

（3）行业需求是从行业规范中分析出来的，一个电子产品要遵守服务行业的标准规范，进入市场需要通过该行业的认证测试。

（4）地域需求是指某些地区是有特殊规定的，基于某种资源或者其他方面的考虑，制定不同于国家或者其他地区的规定，产品如果在该地域使用就必须遵守该地域的特殊规定，否则设计出来的产品可能不允许在该地域内使用。

产品的技术要求是需要写入需求分析说明书中的，根据每项技术要求分解需求及分析达到要求所进行的措施。

需求分析阶段输出需求分析说明书，对每项需求都有明确的解释，也应包含对国家标准和行业标准的引用信息。

本阶段测试主要是根据需求分析说明书分解测试项目和方法的，对一项需求，需要进行全

面的分解，需要包含各种状态，力求全面。

本阶段参与的测试是为后期测试做准备的，对测试用例的编写有很大的帮助。

2. 概要设计

需求分析完成后，进入产品的概要设计阶段。概要设计阶段是对产品需求的细化，确定其简要实现方式和需要采用的器件，考虑同类器件的优缺点。如果没有定性的器件，就需要对多家器件进行选型测试，通过比较测试，筛选性能优的器件。

产品设计的概要阶段是不应该将成本考虑在内的，首先应该关注产品功能的实现。同性能的情况下，可以考虑器件成本。

概要设计需要按照需求中规定的技术要求进行设计，设计满足技术要求的实现方法。

概要设计阶段需要设计产品的框架结构及划分系统功能模块，设计系统的通信方式、设计系统各功能模块之间的配合关系。系统模块的划分有利于后期进行的单元测试。根据系统的框架及模块划分，设计单元测试用例，主要关注单元的功能实现及相关性能，根据所在系统的位置选择测试项目。通过分析模块与模块之间的关系，为后期的集成测试创造条件，将相关的和联系比较密切的模块集成进行集成测试。

电子产品的概要设计关系到系统的单元测试与集成测试，是主要的测试依据。

3. 详细设计

产品的详细设计是系统功能的具体实现，包括原理图设计、PCB 设计、上下位机软件设计。在详细设计阶段之前，所用器件的选型都已经完成。

（1）原理图设计是对已经确定型号的器件，按照设计原理，把器件联系在一起，共同实现某种功能。其与测试相关的是产品是否进行了防错插设计。各种子板组成一套系统，各子板的接口一般是一样的，在使用中会存在误插的可能性。在设计测试用例时，需要考虑测试误插因素引起的结果。

（2）PCB 设计比较关键，布线布局的不合理会带来一系列的稳定性问题，利用一些手段可以对 PCB 进行测试，测试 PCB 的散热是否良好、电磁发射是否满足要求等。

（3）上下位机软件设计可以认为是产品设计的核心，容错设计是需要进行的，容错测试也是需要进行的。

根据功能的实现方式，分析测试的各种情况，设计全面的测试用例，测试用例来源于一项测试功能的分解。测试用例设计需要注意测试数据的临界值，系统在临界值处的处理可能出现问题，要加强对临界值处的测试。

详细设计可能出现变更，相应地对测试用例也要进行调整，测试人员应该参与项目的例会，以实时掌握设计的进程及状态，对测试用例进行完善。

4. 功能实现

参与功能实现阶段的测试有单元测试与集成测试。单元测试是对产品系统某一功能进行的测试；集成测试是对几个单元模块组合的测试。

单元测试关注模块单元的功能测试，主要是对其主要功能进行测试，围绕模块单元进行测试用例设计，考察功能实现是否符合预期，各种输入条件下，单元功能是否正常。

单元测试重点测试数据的有效性、单元模块通信情况及稳定性测试。单元测试相对比较简单，但是需要对单元的功能测试全面，否则在设计的后期对整个产品影响很大，影响整体开发进程。

单元测试在整个开发过程中发挥基础的作用，要想做好产品，必须把单元测试做好，不可以因为其简单而忽略了单元测试，也不应该弱化单元测试。

单元测试的时间比较宽松，因此有足够的时间进行测试。

集成测试主要测试单元模块之间的接口配合情况，主要是在产品设计进行了一段时间，完成了部分的单元模块设计之后进行的。

集成测试可以是几个单元模块的集成，也可以是多个模块进行集成，集成的规模依赖于模块间功能的联系。

单元功能相关的可以进行集成，一个产品系统可以进行多次集成。

5. 功能验证

功能验证阶段一般是系统所有功能实现以后进行的，即所有的单元测试和集成测试已经通过，满足设计预期，也就是所谓的系统测试。

系统测试需要关注产品的所有功能及要求，考察产品各方面的指标，测试产品在各种环境下是否正常工作，是否出现性能下降，系统的抗扰性是否满足要求，系统的电磁发射指标是否满足标准要求。

系统测试不仅仅是对单元测试和集成测试的综合，也是对产品系统的整体全面测试，不仅包括系统的正常功能，还包括故障安全类的测试。

6. 试运行

试运行是电子产品在现场试点运行的阶段，通过试运行，考察产品在实际环境中的应用情况，通过试运行，考察产品是否需要改进。

产品安装完成后，需要进行验收测试。验收测试主要测试产品系统的正常功能及与其他系统的接口联系功能，也可以进行易于操作的故障测试，保证产品在各种情况下不会对其他系统产生影响，对现场环境造成伤害。

试运行阶段对产品系统的稳定性进行测试，测试产品系统在连续长时间下的工作情况。

试运行阶段需要人员值守，随时处理问题。

7. 市场推广

市场推广是产品系统设计已经成熟，产品比较稳定，满足大范围推广使用的需要，是产品高速增长的阶段。

在进行市场推广前，需要通过相关行业的产品认证测试，获得生产许可，一般包括型式试验和功能测试。型式试验一般在检验中心进行，功能测试可以选择在公司或者现场进行测试。

根据认证规则，一般是有几年有效期，在有效期内每年需要进行抽验，关注产品的质量变化，以实现监督的目的。

在市场推广阶段，测试认证作为一种技术支撑，保证市场推广的顺利进行。



8. 市场维护

市场维护阶段是指产品在现场运行后对出现问题的处理阶段，有些产品的特殊性，产品的变更会影响到已经安装运行的设备，事后出现的产品更改会牵涉到现场问题的整改。通过现场运行的测试，积累产品改进升级经验。



小结

测试一般是由独立的测试部门进行测试的，可以站在一个使用者的角度进行测试，测试人员需要对产品需求进行分析，充分挖掘显性需求和隐形需求，才能保证对产品的测试全面。

设计人员一般不参与后期的集成测试与系统测试，设计人员测试其设计的产品存在一定的依赖联系，在测试时，可能会错过发现设计缺陷的时机，满足不了测试效果。

测试在产品设计的各个阶段都发挥了不同的作用，测试与设计是产品研制过程中密不可分的两个方面，通过测试使产品更稳定、更可靠。

测试与设计存在着互相制约的依赖关系，如果设计阶段能够考虑比较周全的设计，按照标准进行电磁兼容设计，那么在后期的测试中会比较顺利，否则有可能陷入反复整改测试的漩涡之中。

1.1.2 测试与方法

测试活动主要是测试方法与思想的结合，设计测试用例就是设计方法，通过一步步的操作，达到验证用户需求的目的。

测试方法是测试的根本，整个测试过程是以测试方法为依据的，它详细罗列了测试的步骤及每步达到的预期结果。每项功能可以从多个角度进行设计测试方法，从多方面进行测试，实现功能的验证。依据测试方法而设计的测试用例，是测试方法的具体表现形式，测试方法的思想在相关的测试用例中都有所体现。

有些标准中会指定产品的测试方法，比如硬件测试。硬件测试标准中，明确规定采用的测试方法，对设备的布置有明确的要求。

软件功能测试一般是需要自己设计测试方法的，根据用户需求及现场操作进行测试方法设计，分析现场可能出现的情况，然后针对每种情况设计测试用例。

测试是对一项功能从多个角度考虑，包括正常和故障两种情况，分解出多个测试用例，通过测试，测试预期是否满足设计需要。

测试方法是否全面，直接影响测试的效果，测试方法在设计时，需要借鉴公司其他项目、本项目及测试人员的相关经验，才能把测试方法设计的尽可能全面，进一步使测试尽可能全面，达到测试的效果。

测试方法的设计需要花费比较多的时间，需要综合多方面的因素，对产品需求进行细化，熟悉现场的环境与操作流程。

测试方法不是无限制的设计，方法需要依赖于具体的环境，需要符合实际情况，且实际情况下不容易出现的情况不应作为测试的方法。

1.1.3 测试与认证

认证是产品的生产许可，只有通过了认证，才允许产品的生产和销售。认证测试是认证的过程，对产品的各个方面进行测试。不同的行业可以有不同的认证，产品在某行业内使用，就需要通过其行业的认证，满足行业标准。

认证作为现代工业社会履行合同要求或贯彻标准的手段，已广泛应用于商品的形成、流通和使用的各个环节，是企业和组织机构提高管理和服务水平、保证产品质量、提高市场竞争力的可靠方式，也是国家从源头上确保质量安全、规范市场行为、指导消费、保护环境、保护人民生命健康、保护国家经济利益和安全、促进对外贸易的重要保障。

如今的电子行业，产品上市销售，需要通过相关行业的许可测试，取得相关生产许可后，才能进行销售。认证中一般包括电磁兼容测试、环境测试和雷电防护测试。

每个国家都有相关的认证，产品若销往欧洲市场，就需要通过“CE”认证；产品进入美国，需要通过 FCC（Federal Communications Commission，美国联邦通信委员会）的许可，并通过相关的认证，才可以进入美国市场进行销售。我国的强制性产品认证（“3C”认证）就是国外的商品进入中国市场所必须进行的认证。认证标志示意图如图 1.2 所示。

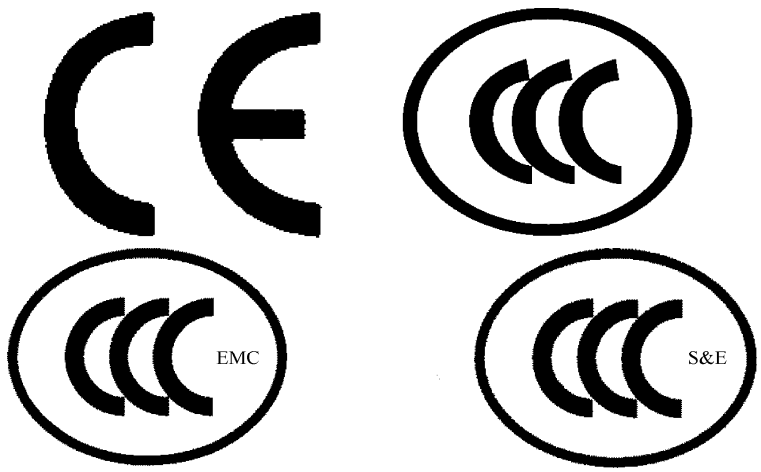


图 1.2　欧洲及国内的认证标志

每件商品要求加贴产品认证标志，标志不允许涂改，要求贴在商品及设备统一固定位置。其中我国常见的认证有“3C”认证和“CRCC”认证。

1. “3C”认证

“3C”认证是英文名称“China Compulsory Certification”（中国强制性产品认证制度）的英文缩写，也是国家对强制性产品认证使用的统一标志。它是我国政府按照世贸组织有关协议和国际通行规则，为保护广大消费者人身和动植物生命安全，保护环境、保护国家安全，依照法律法规实施的一种产品合格评定制度。

3C 认证制度对强制性产品认证的法律依据、实施强制性产品认证的产品范围、强制性产品认证标志的使用、强制性产品认证的监督管理等做了统一的规定。

3C 认证的主要特点是：国家公布统一的目录，确定统一适用的国家标准、技术规则和实施程序，制定统一的标志，规定统一的收费标准。凡列入强制性产品认证目录内的产品，必须经国家指定的认证机构认证合格，取得相关证书并加施认证标志后，方能出厂、进口、销售和在经营服务场所使用。

3C 认证需要遵循一定的认证程序。它的基本情况如下所示。

- CCC 认证申请分书面申请和网上申请。
- 申请书含申请人、制造商、生产厂和产品的有关信息。
- 每种型号单元的商品应单独申请。
- 同一种型号不同生产厂家的商品也应单独申请。

3C 认证流程图如图 1.3 所示。

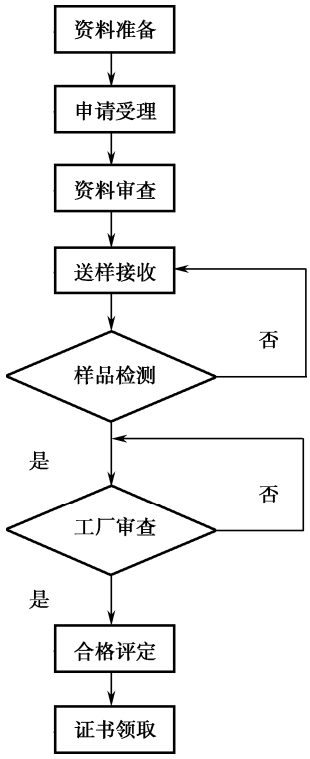


图 1.3 “3C”认证流程图

1）阶段 1：申请受理

- 收到符合要求的申请后，认证机构向申请人发出受理通知，通知申请人发送或寄送有关文件和资料。
- 同时，认证机构发送有关收费和通知。
- 申请人按要求将资料提供到认证机构。
- 申请人付费后，按要求填写付款凭证。

［注：企业一般应提供以下资料：总装图、电气原理图、线路图等；关键元器件或主要原材料清单；同一申请单元内各个型号产品之间的差异说明。］

2）阶段 2：资料审查

- 在资料审查阶段，产品认证工程师需对申请进行单元划分。
- 单元划分后，若需要进行样品测试，产品认证工程师向申请人发送送样通知及相应的付费通知，同时，通知申请人向相应的检测机构发送样品接收通知。

3）阶段 3：送样接收

- 样品由申请人直接送达指定的检测机构。
- 申请人付费后，按照要求填写付款凭证。
- 检测机构对收取的样品进行验收，填写样品验收报告，对于不合格的样品将出具样品整改通知，整改后填写样品验收报告。
- 样品验收后，检测机构填写样品检测进度表报认证机构。
- 认证机构收到样品检测进度后，在确认申请人相关费用付清后，向申请人发出正式受理通知，向检测机构发出检测任务书，样品测试正式开始。

4）阶段 4：样品检测

- 企业在型式试验阶段应做的工作为：送试验样品、需要的零部件及技术资料，了解试验进度，如果出现不合格项要依照样品测试整改通知进行及时整改。
- 样品测试结束后，检测机构填写样品测试结果通知。
- 检测机构还将试验报告等资料传送至认证机构。

5）阶段 5：工厂审查

- 对于需要进行工厂审查的申请，检测机构组织进行工厂审查。

- 工厂检查的前期准备包括：与认证机构商定工厂检查的日期和人员；按照工厂检查的要求准备好文件和记录；在工厂检查时安排生产线开动。
- 企业要严格按照工厂检查的要求配合工厂检查组的工作。根据确认的不符合项和工厂检查结论，尽快完成不符合项的整改。

6）阶段 6：合格评定

- 产品认证工程师对各阶段的结果进行收集整理后，进行初评。
- 合格评定人员对以上结果进行复评。

7）阶段 7：证书领取

- 认证机构主任签发证书。
- 申请人打印领证凭条，到认证机构自取或要求寄送证书。

获证后的监督如下所示。

- 如果生产的产品与型式试验的样品不一致，应得到认证机构的确认后再生产。
- 要与认证机构商定正常监督的日期。
- 在监督时，生产线应正常生产，并有认证的产品在工厂或能提供一定量的产品供抽样。
- 准备好监督所要求的文件和记录。
- 确认不符合项和监督结论。
- 尽快完成不符合项的整改。

2. “CRCC”认证

“CRCC”认证的前身是生产许可测试，是由铁道部质量监督检验中心（简称质检中心）指定下属的检验站对不同产品进行测试，通过测试后，颁发生产许可证书，准予生产及销售。随着认证系统的增多，质检中心已经满足不了实际的需要，因此专门成立了第三方认证机构，专门进行测试，而质检中心只负责发证，不再负责抽样及测试工作。

“CRCC”认证一般包括认证的申请、工厂现场审查、型式试验、认证结果评价与批准、获证后的监督等几个过程。

（1）产品的认证需要一些基本条件，对范围内的各个产品都是一样的，主要包括企业的资质（营业执照、质量体系认证）、基本设计生产所需要的设备等，针对各个产品分为特定要求，根据各系统的特点，制定符合产品的认证要求。

（2）工厂现场审查是一个重要的环节，主要对产品生产过程、设计及测试过程的相关文档进行审查，对产品的生产过程进行质量控制，加强对产品质量的监督。其包括产品一致性检查。

① 认证产品的铭牌和包装箱上所标明的产品名称、规格型号应与认证申请或认证后确认的规格型号一致。

② 认证产品的结构应与认证申请提交的图纸和认证检验的样品一致。

③ 认证产品所用关键零部件（元器件）及其制造商应与申报并经认证确认的一致。

④ 认证产品质量与认证产品标准的要求一致，抽取样品进行现场见证试验。

（3）型式试验主要是依据产品的技术条件或技术合同进行设备抽样及检验，每项都需要满足要求，一项出现问题，将需要重新提交申请。另外认证对零部件和材质进行了控制，增加了对材质的检验。

（4）只有通过了所有的测试，满足了产品特定要求的所有项目以后，才准予发证。否则需要重新认证，进行审查及测试。

（5）一般情况下从获证后的 8～10 个月进行第 1 次监督检查，证书有效期内每年至少对工厂进行一次监督检查，若发现不符合项，需要立即进行整改，若还不通过，将吊销 CRCC 认证证书，产品将需要重新进行。认证监督检查合格后，可以继续保持认证资格使用认证标志。监督检查时发现的不符合项应在 3 个月内完成纠正措施。逾期将撤销认证证书、停止使用认证标志，并对外公告。



图 1.4 “CRCC”认证标志

“CRCC”认证标志如图 1.4 所示。认证范围内的产品，每件都需要粘贴，粘贴位置及标志的方向都需要保持一致。

1.2 测试技术

电子产品设备及系统在设计完成后都需要进行产品测试，发现产品设计缺陷，对用户需求进行验证。

在产品的不同阶段，需要进行不同的测试内容。测试受现场条件的制约，是为了展现产品在现场的真正工作状态。测试可以分为不同的类型，依据标准选择测试内容和测试方法。

测试的项目是根据现场环境细化出来的，对现场的环境具有针对性，每种测试，都是一个完整的过程，包括测试用例的编写、测试计划、测试执行、测试记录、测试评审和测试报告。

1.2.1 测试的分类

根据产品设计的阶段，可以将测试分为研发试验、型式试验、验收试验、生产试验、出厂试验和软件评测，如图 1.5 所示。

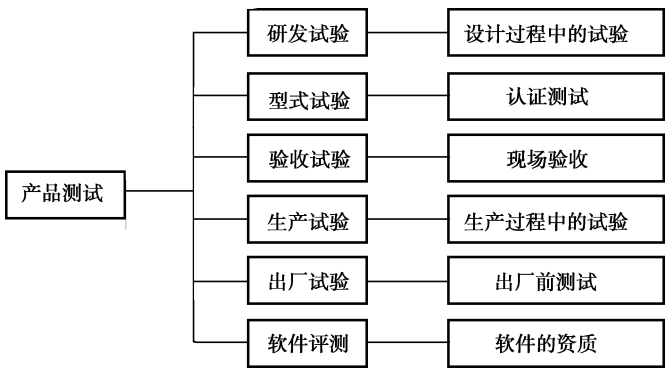


图 1.5　测试的分类

（1）研发试验主要是在产品的设计阶段，根据具体的测试对象，可以细分为硬件单元测试、硬件集成测试、硬件系统测试、软件单元测试、软件集成测试和软件系统测试。

（2）型式试验主要是电子产品在发布、认证时需要进行的，一般测试只对整个系统进行

测试，测试比较全面。

（3）验收试验主要是针对现场设备进行的，主要测试系统的正常功能。

（4）生产试验是电子产品在生产环节进行的测试，检查生产环节对设备的影响，控制整体产品质量。

（5）出厂试验一般进行常规的测试，对系统有影响的测试和对系统可能造成损伤的测试不再进行试验。

在每次试验后，可能产生一些问题，对这些问题的验证需要进行回归测试，根据问题的影响程度，确定回归测试项目。

（6）软件评测是第三方对软件进行的认定测试，是软件的一种资质，企业可以用来申请相关资质，如软件著作权等。

1. 研发试验

研发试验主要是在产品的设计阶段，包括元器件的选型、单元测试、集成测试、系统测试、发布测试。研发测试主要是在公司内部进行的测试。

一般公司内会有一个独立的部门负责产品的测试，从产品的立项到产品的发布，整个开发过程都在参与产品的测试，通过对产品的测试，发现设计缺陷，促进产品的改进，对产品的质量进行控制。

测试人员全程跟踪开发过程，全面测试产品的功能是否满足需求，并为设计提供合理化建议。测试人员主要的职责是以最终用户的身份，对产品进行使用，进行日常操作，测试产品是否符合预期设计。

研发试验的测试标准应参照产品的技术条件和检验细则，可以适当提高标准。标准中的规定为产品的最低要求，产品的设计要高于标准。研发试验的详细内容介绍如下。

（1）元器件的选型测试主要是对产品中用到的同类元器件进行筛选，选出各方面性能都比较优良的器件，以此来提高整个产品的质量。

（2）单元测试是对产品的功能模块进行的测试，主要关注单元模块的功能，测试对产品整体有影响的相关性能测试。

（3）集成测试是由联系比较密切的几个单元模块组成，主要测试各模块之间的接口数据是否正常，整体功能是否符合预期。

（4）系统测试是对产品最大的集成，主要测试系统的整体功能，以及按照标准进行全部的测试。

（5）产品的发布测试是对系统进行的最全面测试，任何合理的测试方法都可以进行测试。发布测试是设计阶段的最后一道关口，如果测试不充分，将可能带来比较多的问题。

2. 型式试验

型式试验是产品进行的认证测试。产品在市场上进行销售，一般要通过相关部门的认证测试，才准予生产和市场流通。

在认证测试中，需要进行型式试验和功能试验。型式试验主要是硬件方面的测试，功能测试是针对系统的软件功能进行的测试。

型式试验是严格按照产品的检验细则和针对产品的特殊要求进行的测试，型式试验的测试

依据是归纳出来的产品的主要功能，其测试不全面，因此对产品的测试没有发布测试全面。

型式试验是严格受测试依据的指导，测试依据的问题如果不被修改，还会应用在测试中，对产品的测试有误导的可能，因此在对测试依据制定时，一定要经过多方专家的评审，才能制定出比较合理的测试要求，有效地指导型式试验测试。

3. 验收试验

验收试验是设备在现场安装后，在现场进行的测试。一般没有型式试验测试的项目多，其中一些对产品伤害比较大的测试将不再进行。验收测试关注产品的现场运行情况能否满足现场用户的需求。

设备现场环境与实验室测试环境是不同的，现场的通信距离可能比实验室长，设备还可能受到温度、油污、水等多种综合因素的影响，产品能否稳定可靠工作，需要通过长期的稳定性测试才能得出结论。

验收测试可以进行全面的功能（实验室无法模拟）测试，现场设备是比较全的，与产品连接的接口可以全部连接起来测试产品的整体性能。

4. 生产试验

生产试验是在生产过程中进行的测试，它是为了考察产品生产过程中对产品性能的影响，了解整批产品的质量情况。它一般采用抽样的方式进行测试。按照标准的抽样原则进行抽样，然后只对样品进行的测试，一般只进行常规的测试。

电子产品生产测试一般进行绝缘测试、高温测试、低温测试和老化测试。对产品进行的绝缘测试、高温测试、低温测试是为了了解产品的基本性能；老化测试是为了筛选工作比较稳定的产品。

5. 出厂试验

出厂试验是电子设备在现场安装前或者是产品入库前进行的测试，只进行常温功能的测试，而对产品性能有影响的测试不再进行。它是为了考察产品的整体功能情况。设备可能由于某种原因放置了一段时间，其功能可能受到影响，所以通过测试了解产品在出厂前的功能是否正常。

出厂试验可以与生产试验一起进行。电子产品有可能是生产完成后就发往现场，通过测试，实现不同的目的。

6. 软件评测

软件评测测试包括登记测试、鉴定测试、验收测试和确认测试四种，如图 1.6 所示。

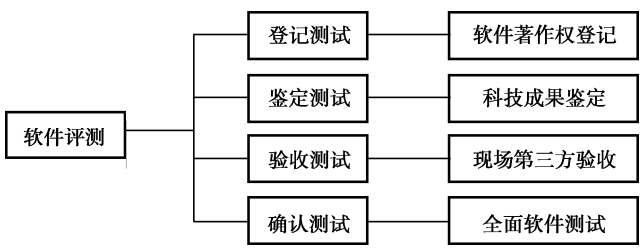


图 1.6　软件评测的类型

（1）软件产品登记测试是对申报“双软”的企业及系统集成企业进行软件产品测试，并出具登记测试报告，作为申报双软认定的基础材料。需要提供的资料为申请表、委托测试合同、用户使用手册。

（2）软件产品鉴定测试是对申报科技项目、科技成果、“双高”企业的软件产品进行测试，并出具鉴定测试报告。其测试结果作为申报科技成果的技术鉴定依据。需要提供的资料为申请表、委托测试合同、用户使用手册、光盘（打包的部署/安装程序、电子版用户使用手册）。

（3）软件项目验收测试是接收用户或开发方的委托，按照合同要求、需求说明及相关标准、法规等，对软件项目进行测试，验证软件系统是否满足开发方与用户签订合同及需求说明的要求。需要提供的资料为申请表、委托测试合同、用户使用手册、光盘（打包的部署/安装程序、电子版用户使用手册）、软件需求规格说明书（功能需求、性能需求）。

（4）软件产品确认测试是按照国家软件质量测试标准和测试规范，对软件产品从用户文档、功能性、可靠性、易用性、效率、可维护性和可移植性 7 个方面进行全面质量评价，为用户或企业对软件产品质量认定提供依据，需要提供的资料为申请表、委托测试合同、用户使用手册、光盘（打包的部署/安装程序、电子版用户使用手册）、委托测试需求说明。

1.2.2 测试的项目

一般电子产品的测试项目受多方面因素制约，主要包括影响设备的骚扰类型、环境条件、要求的可靠性和性能、经济约束、设备的特性等。一般在产品的技术条件和检验细则中有明确的规定，特殊条件下，也可由制造商和用户协商确定。

电子产品的标准可能有通用标准、行业标准和专用标准，应按照专用标准、行业标准和通用标准的顺序优先选用。

测试项目从大的方面说有硬件测试与软件测试两类测试，每类测试中又可以分为单元、集成和系统测试。

依据不同的测试类型，选择适当的测试项目。测试的最终目的都是一致的，都是为了发现软件的设计缺陷，提高产品的质量。只是进行不同的测试时，侧重点是有所不同的。

（1）研发测试阶段主要关注的是产品各模块单元的功能、系统的功能及性能，前期主要进行用户需求符合项的测试，后期则主要进行全面的测试。

研发测试阶段中的单元测试可以由设计人员进行，设计人员清楚单元实现的功能及每行代码的执行结果，通过单元测试，设计人员可以对代码进行优化，以提高代码的执行效率和可靠性；集成测试时，牵涉到各模块单元之间的接口，在进行测试设计时，可以参照这些模块在系统中的作用，选择进行一些针对接口的抗扰度测试和电磁发射测试。常规的如高、低温测试也可以进行测试。

系统测试要求进行全面的测试，按照技术条件、检验细则或特殊要求进行每项测试，还必须进行附加的测试，从多个方面测试系统的表现，尽可能包含各种情况，直到每项测试都满足标准的要求，这时才可以通过系统测试。如果产品设计不合理，系统测试中可能会出现多次反复测试。

（2）电子产品的型式试验是进行规定中的所有测试项目，主要用于公司内部比较完整全面的测试及产品认证测试中。在型式试验中，测试项目有明确的规定。

型式试验中，公司无法进行的测试项目需要委托其他单位进行。一般电子产品质量检验监督中心、计量部门、检测中心和研究所等，都可以进行全部项目的测试，还可以出具第三方认可的测试报告。

（3）验收测试主要是针对现场的工程项目，在完成系统调试后，邀请各方专家进行验收测试。验收测试也可以用于产品系统的交接，它是由使用单位参与，对产品的现场运行能力的测试，主要对系统的常规功能进行测试。

验收测试有时也包括现场的培训。通过对产品的操作，观察测试结果是否符合设计预期，通过测试培训，使用户了解产品的使用和维护等方面的知识。

（4）生产测试中的测试项目主要是与生产环节相关的测试项目，一般的高、低温和老化测试是需要做的，筛选在生产环节中可能出现器件性能下降的问题，以减少设备在现场出现问题的概率，从而提高系统稳定性。

（5）出厂测试的测试项目一般为常规测试项目，不进行对系统有损伤的测试项目。

（6）软件评测一般针对具体的软件进行测试，但是需要借助硬件设备搭建软件的运行环境，根据测试的类型，可以与测试部门商定测试地点。软件评测一般是软件申请方提供软件的主要功能，然后测试部门经过筛选进行测试。

1.2.3　测试的过程

一般的测试过程包括测试计划、测试用例设计、测试执行、测试记录、测试评审和测试报告 6 个阶段，如图 1.7 所示。

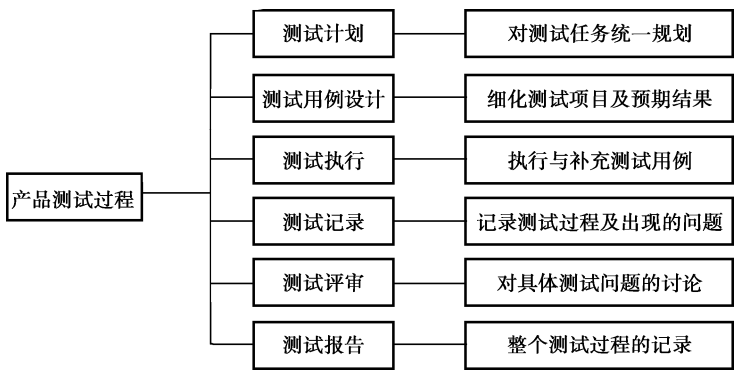


图 1.7　产品测试过程描述

1. 测试计划

测试计划是对测试任务的一个统一规划，是对整个测试活动的预知。制订测试计划的首要依据就是对测试对象的了解和测试工作量的评估。

测试前需要对测试对象进行认真的学习、了解其主要正常功能、熟悉其在现场的工作环境，了解其与其他设备的各种接口，以及与产品相关的标准、试验方法和判据等。只有对测试对象非常熟悉，才能有可能更好地完成测试。

测试工作量的评估与产品的技术条件和测试标准有直接的联系，在技术条件中，会明确产

品需要进行的各项测试，会规定采用的试验方法及试验的等级。只有对这些试验项目进行估算，才能制订切合实际的测试计划。

测试计划还与产品的需求有关，一般的产品需求中只明确了显性的用户需求，一些隐性的用户需求并没有体现，因此需要自己去挖掘。挖掘产品的隐性用户需求，可以提高测试的全面性。

测试计划需要考虑测试过程中的异常情况，适当留一些时间，比如实验室的占用、测试设备的故障等，这些不确定因素会影响整个测试进程。大的无法预知的因素可以不考虑在内，时间比较长的可以走测试计划变更流程。遇到特殊情况进行计划变更也是没有争议的，特殊情况一般是无法改变和无法控制的情况。

测试计划应具体到天，应明确每天需要做的测试工作、试验项目的测试顺序，当然对同一类的试验项目可以根据实际情况进行细小的调整，除非检验细则中定义的试验顺序是不可以更改试验顺序的，因为试验顺序的调整可能会引起测试结果的不同。没有明确的试验项目的测试顺序，可以根据其影响大小和测试设备的位置进行合理安排。

测试计划中包括测试人员的安排，具体到每项测试由哪几个人在做，都需要进行明确。只有这样，才能保证执行阶段的顺利进行。测试计划中还应包括测试的目的。不同的测试。目的是不同的，这样测试项目也就有所不同。测试用例会进行调整，在执行测试时，就会有所侧重。

有些测试是需要在其他单位进行，也就是委外测试，其测试计划需要根据测试方法、考虑设备搬运和调试等因素进行编写。委外测试的时间更不容易确定，其会受到更多因素的影响。

2. 测试用例设计

测试用例的编写一般持续的时间较长，有些产品在设计之初就开始了测试用例的编写。测试用例涉及很多方面。在产品需求设计阶段，就应该有测试人员的参与，参与产品的需求分析，参与产品设计方案的讨论，从而更全面地了解产品、熟悉产品。

根据产品设计思想，融入测试理论，对每项需求进行细化，这样可以将需求分解为多个测试用例。一项产品的基本功能，可以站在不同的角度，以用户的身份进行细化分解，产生多个测试子项分别针对不同的测试目的。

产品需求来源于用户需求和现场需求，只有对现场进行全面调研，与用户进行有效的沟通，才能制定出全面的产品需求，根据需求而来的测试用例才能更全面。

在前期的现场调研中，需要对设备的级联数目进行确定，对设备的负载承载量进行明确，这些都是影响产品设计的因素，否则设计的产品可能会不满足现场的需要。

测试用例中体现产品可靠性、可用性、维护性和安全性方面的性能指标，全面对产品进行测试。

（1）产品的可靠性主要体现在产品能否在规定的环境条件下正常工作、能否抵御来自现场环境中的各种干扰、能否连续长期稳定可靠的工作，以及产品的故障失效率是否满足要求等。

（2）产品的可用性考察产品在使用方面是否方便；响应速度是否满足相关要求；在各种环境条件下，产品的操作是否受到影响；用户操作界面是否友好；产品操作是否符合使用人员的习惯，这一点是很重要的。改变使用人员的思维意识是非常困难的，这就需要在整个设计过程中与现场人员进行充分的沟通，使设计出来的产品符合使用人员的要求，还可以挖掘到一些隐

性需求。

（3）产品的维护性主要考察产品对失效的预知功能和设备是否便于更换。一般设备的失效是有一定先兆的，根据这些表象提示相关维护人员进行及时的更换。产品的标示也是属于维护性方面的要求，使用户可以迅速地找出故障的设备。

（4）产品的安全性方面主要考虑操作人员的人身安全。产品工作中，其外壳上产生的高电压，在有人员接触时将会产生伤害，因此产品的外壳是必须接地的，保证操作人员的人身安全。

测试用例主要依赖于产品的技术条件和检验细则。技术条件和检验细则中明确规定产品需要满足的技术要求，一般包括常温的功能测试、故障测试、环境测试、电磁兼容测试和雷电防护测试。

（1）常温功能测试是产品的主要正常功能，是最具代表性的功能，在整个测试过程中都需要进行关注。

（2）故障测试是测试产品故障是否影响其他设备的工作和测试产品的故障处理流程。产品设备的故障不应影响其他设备的工作，不应发生灾害（如火灾等），故障不允许信号升级，应导向安全。

（3）环境测试是范围比较广的测试，包括低温、高温、湿热、振动、冲击、防水、防尘和盐雾等多种试验，旨在考察产品在各种条件下能否正常工作、是否出现性能下降、是否威胁到人身安全。每项测试中有不同的测试方法与试验等级，需要根据产品的相关标准进行选择。

（4）产品的电磁兼容测试主要是电磁抗扰度及敏感度方面的测试，测试产品对电磁干扰的防护能力，测量产品对环境中其他设备的电磁干扰程度。测试包括多个测试项目，模拟现场的干扰，通过测试，改进设计，进一步提高产品的稳定可靠性。

（5）雷电防护测试主要是对系统电源接口、通信端口、I/O 端口进行的模拟雷击干扰测试，根据产品的相关标准选择试验波形与试验等级。

测试用例中应明确每项测试的端口、应说明具体的线缆及试验要求，以及测试的预期结果，这样在测试中才易于操作，防止来回找各种标准，延误测试。测试用例应细化至每一步操作的执行结果。

测试用例应全面覆盖产品的标准要求，无法进行模拟测试的需要按照实际的进行测试。测试用例是产品标准要求的具体体现，是整个测试过程的依据。

理论下的测试用例是全面的、无需更改的，但是由于测试用例设计人员的局限、对产品的认识等因素会出现偏差，测试用例可以根据测试实际情况进行调整，每一轮测试后对测试用例进行补充完善，使测试用例越来越全面，越来越符合用户的要求。

3. 测试执行

测试执行是对测试用例的逐项测试、保证测试的全面性和有效性。测试不允许偷工减料，测试执行不能受测试人员的主观判断，任何不符合预期的现象都应该被记录。

在执行阶段，测试人员应保持对测试问题的足够敏感性，遇到测试问题一定要寻根究底。因为问题中可能隐藏更大的问题，为产品运行埋下隐患。

测试人员在测试执行中要保持一定的主观能动性，遇到疑问，一定要询问清楚，怀疑有漏测的情况，及时进行补充测试，并记录。

测试执行并不是简单地在执行测试用例，而是对产品符合性的测试。通过测试执行阶段可

以加强对产品更深层次的理解。

测试执行阶段是整个测试活动的实施阶段，是测试设计思想的具体体现，一定要认真执行。

测试用例的设计也会考虑每步测试的必要性，尽量让测试简练，避免重复烦琐的测试，否则会带来逆反心理，对实际测试产生一些抵触心理。测试是一种工作，需要讲究测试的艺术；测试是一种寻根究底的探索活动，是一种探险，应该充满激情。

测试用例的设计人员一般也参与具体的测试，通过测试执行，会或多或少的发现测试用例的不妥之处，并及时进行修改完善。

测试执行过程是测试质量的保证阶段，任何遗漏都会影响测试的效果，可能对产品的使用带来隐患。

执行测试需要细心、细致的耐心的态度，按照测试用例的步骤进行测试，认真记录测试记录。

4. 测试记录

测试记录与测试执行是并列的一个阶段，测试记录是测试执行的产物，随着测试执行的继续，测试记录也会被更新。测试记录需要如实记录测试过程，如实记录测试现象，不允许夸大或捏造测试结果。

测试记录是测试的结果。测试是否符合预期，若符合预期，预期结果就是测试记录，若不符合预期，出现的现象就是测试记录。当出现测试结果与预期不符的时候，需要重点记录此项测试的操作过程、测试的表象和产品的状态，可以反复进行测试，为设计人员对问题的处理创造条件，提高测试问题的复现率。问题的复现利于发现问题的原因，利于对问题的解决。

测试记录中需要记录测试用到的仪器设备信息，因为不同的测试工具可能带来不同的测试结果。

测试记录可以有详有略，对通过的测试项目可以一笔带过，对出现问题的要详细记录，把测试的前前后后记录清楚。测试执行中的任何不符合预期的情况都应该被记录，是不是问题需要与设计人员进行确认，达不成一致意见的需要会议评审，邀请相关的专家及领导共同来确定。根据测试问题的情况选择测试会议评审是否进行。测试会议评审是对测试问题的讨论，通过会议讨论，消除认识上的差异，对某项设计缺陷做出是否需要修改的决定。有些时候，测试 BUG 是大家公认的，但是由于某种局限是无法解决的。测试会议评审的会议纪要是需要及时整理的，是需要参与人员的签字确认的，且其可以作为测试结论的依据。

根据问题的影响范围可以将测试问题分为多个级别，一般可以分为严重的问题、一般的问题和建议性的问题 3 种。

（1）严重的问题指影响系统正常功能的问题，如系统死机、重启、错误动作等。严重的问题可能影响产品的使用，影响产品正常工作。且严重的问题是必须要解决的问题。

（2）一般的问题指影响小，且不影响产品正常使用的问题，如产品记录出现异常、错误等，不利于产品的维护，设备更换很不方便，都可以被认为是一般的问题。一般的问题可以经过评审被认为不需要解决。

（3）建议性的问题一般是指利于操作、维护的建议。对系统的优化建议，产品在升级时可以将其作为参考。

5. 测试评审

测试评审是对测试中出现的问题进行讨论、明确需要修改的测试问题，以及下一步测试的具体安排，是在测试执行后进行的。

测试评审一般是测试问题存在争议的时候，或者是无法明确问题的情况下进行的，它是在解决测试中的问题，对无法重现的问题确定处理办法，并确定下一步的工作安排及测试策略。

测试评审不是必须要进行的阶段，根据测试情况进行安排。

6. 测试报告

测试报告是整个测试活动的总结。领导比较关注测试报告，一般会对测试报告进行审阅。测试报告应包括测试对象、测试目的和测试用到的工具（设备）的描述，并对测试过程进行简要的描述。

（1）测试对象要明确测试软件的版本及采用的硬件关键器件型号，且包含受控的文件。

（2）测试目的一般是发布、现场试用和认证等。产品的发布测试比认证测试更全面，认证测试一般只进行检验细则中的相关测试，而发布测试还需要进行其他方面的测试，从而保证产品的可靠运行。

（3）测试的依据一般也是要在报告中体现的，测试依据一般是产品的测试用例，测试用例中已经引用产品的相关标准，在报告中不再引用。

（4）测试报告重点记录测试问题，严重的问题应该全部写入报告中，只需要对出现问题的测试项目及现象进行描述。一般的问题和建议的问题可以在报告中进行统计，不进行罗列。

（5）测试报告一般是需要包含测试结论的，测试结论可以结合出现严重问题、一般问题的情况与测试评审情况，得出测试结论。

1.3 测试意义

测试在产品的整个开发过程中充当着验证的角色。发现设计缺陷，以及对产品改进的验证，对提高产品的质量发挥着重大的作用。

（1）测试实时验证设计是否符合预期、测试设计是否存在偏差，还可以帮助设计人员查找原因，解决问题。

（2）测试是对设计的最全面验证。测试电子产品是否存在安全隐患，是否在各种环境下正常工作。测试人员代表用户，测试过程代表用户的体验。

（3）测试为设计提供了验证手段，通过测试，发现设计是否符合产品需求，及时调整设计，使设计完全符合用户需求。

（4）测试可以极大地减少电子产品的后期维护成本，可以减少设备出现问题的概率，从而赢得良好的市场口碑，为产品的推广铺平道路。

（5）全面的测试可以促进设备的正常运行，减少设备故障率，使用户操作方便，提高用户的效率，使用户倾向于对产品的使用，建立一定的依赖关系。

（6）测试可以排查由于不同操作带来的问题，还可以进行容错测试，测试现场合理的错误

操作带来的系统表现，使产品功能完善。

（7）从某种意义上讲，测试在加速着电子产品的更新换代，使某种设计缺陷在产品的改进中得到解决，它在推动着技术的发展。

（8）测试可以使设计者思路更开阔，使设计更全面，还可以帮助设计者发现用户的隐性需求，完善产品设计。

若测试需要积累，需要继承有效的测试方法，这样才能使测试尽可能地全面，使电子产品设计及系统的问题充分暴露出来。对不同的问题采取不同的处理方法，若可以查到原因，进行解决；若未查找到原因，则分析出现的概率，根据概率的大小，采取不同的处理措施，采用其他手段防护此问题的发生。

产品的问题往往是由于某些条件触发后出现的，因此对操作的顺序有很大的影响。操作顺序的不同，可能引起不同的测试结果。产品设计时，操作尽量设计的比较简单，这样出现问题的概率也会减小。

测试是一个完整的过程，在产品设计阶段就需要介入，参与产品的需求分析，参与设计讨论，全面熟悉产品，从而才能设计出全面的测试用例，才能保证测试效果，通过对产品的全面测试，才能保证产品的稳定可靠工作。

测试是贯穿于整个产品生命周期的一项活动，在产品设计的每个阶段，测试发挥着不同的作用。测试与设计密切相关，应该合理规划测试，使测试充分发挥其作用，共同提高产品的稳定可靠性。

第 2 章

硬件测试技术

本章主要介绍硬件测试方面的知识。从硬件测试的基础入手，介绍硬件测试的范围、硬件测试主要包括哪些方面，以及硬件测试标准和硬件测试理论的内容。

硬件测试根据设计的阶段分为选型测试、单元测试、集成测试、系统测试、回归测试和验收测试，每项测试的侧重点有所不同。

硬件测试主要包括环境测试、绝缘测试、电磁兼容测试、雷电防护测试及常温功能测试。环境测试一般包括低温、高温、湿热、振动、冲击、防水、防尘和盐雾等测试；绝缘测试包括绝缘电阻与绝缘耐压测试；电磁兼容测试包括静电放电抗扰度试验、射频电磁场辐射抗扰度试验、电快速瞬变脉冲群抗扰度试验、浪涌（冲击）抗扰度试验、射频场感应的传导骚扰抗扰度试验、工频磁场抗扰度试验、脉冲磁场抗扰度试验、电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验、振铃波浪涌抗扰度试验、交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验、电源线上的传导发射和系统的辐射发射测试等；雷电防护测试是指对系统电源端口、通信端口、I/O 端口进行的测试。

硬件测试主要是指型式试验方面的测试，是电子产品设备及系统的基本要求，一般其技术条件或检验细则中有明确的指标或参照的测试标准。

本章节将重点介绍硬件测试的分类、项目及技术理论。

2.1 概述

2.1.1 硬件测试基础

硬件测试是测试电子产品设备及系统能否在各种环境条件下正常工作，对操作人员是否安全、能否抵御工作环境中的电磁干扰及能否抵御雷电的干扰。硬件测试是相对软件功能测试来说的一部分测试，是电子产品设备及系统认证中必测的测试项目。

硬件测试主要测试电子产品设备及系统能否满足产品技术条件的要求。技术条件中规定各项测试指标，是产品必须达到的最低要求。实际产品设计时，应按照高于标准的要求进行设计，从而才能顺利通过相关的测试；硬件测试是电子产品设备及系统可靠性测试的主要内容，通过硬件测试来评估其可靠性能；硬件测试还考察系统可用性、可维护性及安全性方面的指标。环

境测试、电磁兼容测试、雷电防护测试就是在考察系统的可用性，考察系统在各种环境条件下是否工作正常、是否出现性能下降，以及出现故障时是否影响其他系统的正常工作，不允许出现火灾等严重情况；绝缘测试主要是从安全性方面考察其性能，避免对操作人员造成伤害；硬件测试中的稳定性测试及高温老化测试都是在考察系统长期稳定可靠运行的性能，一般在测试中不允许出现影响产品功能的现象；不能出现不可预知的结果，不能出现死机等严重情况。测试中需要实时检测设备的工作状态。

硬件测试是通过模拟电子设备实际工作现场各种条件及在干扰测试系统工作性能的条件下，测试电子产品能否在这些条件下正常启动，在干扰的情况下是否正常工作，其电磁发射是否满足限值的要求。每项测试都是有依据的，都是各位专家对实际环境的经验总结，凝聚了诸多学者的心血，是无比珍贵的财富。

硬件测试需要借助测试仪器，模拟现场各种条件，以达到测试的目的。有些设备比较昂贵，只有在检测认证中心才有，因而需要委外摸底测试来验证电子产品在此条件下的工作状态。

硬件测试一般是通过对电子产品的关键核心功能进行检测或执行操作，从而判断其是否满足要求。针对每根线缆的测试，可以选择线缆对应的功能作为被考察功能，以此判断得出测试结果。

硬件测试对环境的布置、关键器件等有直接的影响，一般在测试报告中都有所体现，对于出现的问题，也会进行记录，记录其现象或数据。

硬件测试与被测样品有直接的关系，一般的测试都是只对样品负责，厂家在生产时是不允许更换内部器件的，原则上，更换需要重新进行测试。硬件测试的针对性比较强，如果需要更换器件或修改配线，就需要重新进行测试，所以硬件测试花费时间比较长。

2.1.2 硬件测试分类

根据电子产品的生命周期及所处的阶段可以将硬件测试分为选型测试、单元测试、集成测试、系统测试、回归测试和验收测试，如图 2.1 所示。

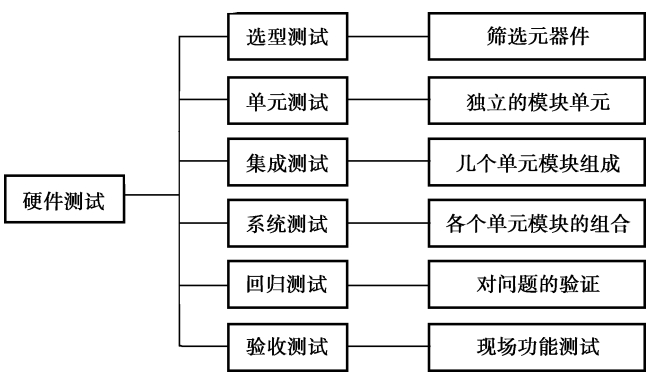


图 2.1　硬件测试的分类示意图

（1）选型测试主要是针对元器件进行的测试，测试的目的是通过选型测试，筛选出性能比较稳定的器件，考察元器件各方面的指标，如工作温度、功耗、优缺点、安全无故障运行时间、EMC 性能等，通过对比测试，确定要使用的元器件。



（2）单元测试一般是针对独立功能单元进行测试的，其侧重于模块单元功能，有时也会进行硬件测试，一般不会对全部项目进行测试，只会选取适当的测试项目进行测试。通过模拟设备及监控设备实时监测单元模块的工作状态。

（3）集成测试是对有一定集成度的功能子系统进行的测试，主要是进行接口与接口之间的通信数据关系测试，侧重接口测试，测试接口之间的数据是否正确、通信是否稳定，数据错误或丢包率是否满足系统要求。集成测试可以是几个单元模块的组合，重点测试各模块之间功能配合情况。常有这种情况，就是各单元功能正常，连接在一起就出现错误，可能是总线占用、匹配电阻不匹配和通信协议有问题等。

（4）系统测试是针对完整的系统进行的整体测试，系统的各个单元模块都需要连接在一起组成完整的系统，是对单元模块最大的集成。系统测试对系统的所有功能进行测试，包括正常功能测试和故障功能测试。正常功能可以参照用户需求说明书进行归纳，系统测试是对每项功能的逐个验证；故障功能测试是考虑设备故障应不扩大对其自身或其他系统造成的影响，也就是导向安全的原则，是必须进行的测试。故障测试关系到电子产品的稳定可靠性、可用性、维护性和安全性等多方面的性能，产品的故障率直接关系到系统的可用性，电子产品系统也逐渐趋向于自检，对故障的预测，发现异常提示维护人员及时更换设备，保证系统正常运行。

（5）回归测试主要是指一轮测试后，可能出现了一些问题，需要进行修改，修改后再次提交的测试。回归测试可以分为全回归测试及部分回归测试。全回归测试是对系统进行的完整测试，可以认为是一轮新的测试；部分回归测试是指根据系统修改的部分归纳出可能受到影响的测试项目，只针对可能影响的测试项目进行测试。部分回归测试存在一定的风险，可能出现漏测，因为有些时候，系统修改影响是不可预知的，对系统来说，这种不可预知存在一定的隐患。如果在时间允许的情况下，建议进行全回归测试。

（6）验收测试主要是针对现场试点进行的测试，一般在电子产品设计及系统设计完成后，需要在现场进行安装试点，以考察系统实际运行情况，进而决定是否需要改进。验收测试一般只测试系统的正常功能，实际的配线是不允许动的，故障类的测试可以只进行不需要动配线而易于操作的测试。验收测试主要是测试电子产品的现场运行能力，以及与其他系统之间的通信数据是否可靠正确，需要进行长时间的正常运行测试，即稳定性测试。

2.1.3　硬件测试判据

硬件测试判据主要是指对测试结果判断的依据，可根据电子产品设备及系统的技术条件或检验细则要求进行评判。一般都可以判断通过或不通过。产品的技术条件或检验细则一般都引用其他标准，需要查找其具体规定及要求。

在各项测试中，都有自己的判据，例如在电磁兼容测试中，将判据分为 4 类，分别为 A、B、C、D，要求如下。

A．在技术范围内性能正常。

B．功能或性能暂时降低或丧失，但在骚扰停止后能自行恢复，不需要操作者干预。

C．功能或性能暂时降低或丧失，但需要操作者干预才能恢复。

D．因设备硬件或软件损坏，或数据丢失而造成不能恢复的功能丧失或性能降低。

一般情况下，安全类设备要求满足性能判据 A，非安全类的设备满足性能判据 B。

硬件测试 BUG 一般可以分为 3 级。

（1）A—Crash，严重的问题。一般指威胁到安全的问题，威胁到用户财产安全的问题，影响设备正常工作的问题，不满足相关国标、行标、企标、技术条件和用户需求说明书等基本要求的问题。例如：通信中断问题、主备机倒机问题、测试中出现的设备损坏、主要功能缺失、设备误动作、误报警、系统死机和影响安全性的问题等。

（2）B—Minor，一般的问题。一般指偶尔出现的问题，无法重现的问题，影响使用性问题，记录问题。如正常操作不出现的问题、出现概率很低的问题、无法重现的问题（影响小、倒向安全侧的问题）、影响使用性的问题、数据采集波动问题、记录与操作不一致问题（重复、缺失和时间偏移等）等。

（3）C—Nice to Have，建议性的问题。一般指系统优化建议，产品装配的建议。如设备布线混乱问题、系统接地不合理问题、标识混乱、不清、错误或缺失问题、影响维护性的问题、工程化程度低的问题和不利于现场施工的问题等。

2.2 硬件测试理论

硬件测试是贯穿于整个产品生命周期之中的。在电子产品的概要设计阶段、详细设计阶段、验证阶段、试点阶段都会有测试的参与，不同测试阶段的测试完成不同的测试目的，且测试的侧重点有所不同。

（1）在电子产品设备及系统的概要设计阶段，主要是器件选型测试，通过对比测试，筛选元器件，确定选用的模块。产品设计需要继承，继承其他项目在设计中稳定可靠的设计思想，直接转嫁于该项目之中，只需要对个别新使用的元器件进行选型测试，加快设计步伐。

（2）在电子产品设备及系统的详细设计阶段，参与的测试有单元测试与集成测试，通过测试，了解各单元模块功能是否满足产品需要，单元模块之间的通信数据是否稳定可靠。本阶段测试有可能是循环反复的过程，直到满足产品需求为止。测试是融于设计之中的，需要与设计有效地沟通，从而达到认识上的一致。

（3）在电子产品设备及系统的验证阶段，是对电子产品设计及系统进行的完整测试，参与的测试是系统测试，是在产品设计中最全面的测试，对系统的正常功能和非正常功能进行测试。按照实际工作现场搭建测试环境，与其他系统的接口通信可以采用模拟方式，可以参照现场模拟设备的防护，系统的防护一般也是定型的设计，继承有效的设计方案及厂家推荐使用的方案。测试中对设备的工作状态进行检测，观察设备工作是否正常，如实记录测试过程及系统的工作状态。可以对出现的问题做简要的分析，指出可能的原因，引导设计人员解决问题。

（4）在电子产品设备及系统的试点阶段参与的测试有验收测试，主要测试设备在现场的工作情况，测试其与其他系统的接口工作状态，进行实验室无法进行的测试项目（受限于现场设备）。

每个测试过程，都可能出现问题，于是需要进行回归测试，因此回归测试是贯穿于整个测试之中的一项测试。

测试需要保持敏捷的态度，持有对问题的高度敏感性。遇到测试问题，需要追根究底，不要似是而非，懵懵懂懂，对现象持有所亦然的态度，否则一些问题会擦肩而过，在现场工作时



充分暴露出来。

每个阶段的测试都要尽量测试充分，不要把问题留给下一阶段，这样带来的反复测试成本是不可估量的，也是每一个人不愿意看到的。

测试需要对被测对象进行充分地认识与学习、了解其用户需求说明书、学习产品的操作流程、熟悉产品的工作现场、对产品的环境进行预测、分析产品在工作中可能受到的影响，以及产品可能产生的故障及其产生的影响。理论的测试是综合了多方面的因素，继承了多次测试经验，融入了测试人员对问题的认识，蕴含了测试人员的思想，是一项全面的、统一的活动，通过测试，可以考察系统各个方面的工作性能。

测试是融合了多方因素的一项活动，体现了不同人员对产品功能的不同认识，以一个使用人员的身份，对产品进行试用，模拟各种条件，综合测试电子产品的工作情况。

2.2.1　硬件测试项目

硬件测试根据测试类型可以分为常温功能测试、绝缘测试、环境测试、电磁兼容测试及雷电防护测试。

1. 常温功能测试

常温功能测试一般是指电子设备的正常功能测试，如设备通信情况、实时采集情况和设备工作状态指示等，属于系统的整体功能，是在整个测试阶段都需要关注的内容。

2. 绝缘测试

绝缘测试一般是在其他测试前进行的测试，是在不加电的情况下，将浪涌保护器件移除而进行的测试。绝缘测试包括绝缘电阻测试和绝缘耐压测试两种。绝缘电阻测试一般是施加直流高压，测试端子与外壳之间的电阻，用 MΩ表示。绝缘耐压测试是在端子与外壳之间施加交流或直流高压，通过对漏电流的检测，判断设备的绝缘性能。

3. 环境测试

常见的环境测试包括低温、高温、湿热、振动、冲击、防水、防尘和盐雾等测试。

（1）低温测试有低温存储、低温启动和低温运行方式。低温存储主要测试电子设备在低温环境下存储一段时间，环境恢复后设备是否工作正常；低温启动用来测试电子设备在低温环境下存储一段时间后，在低温环境下启动能否正常工作，低温启动依赖于内部各元器件的工作温度。实际测试中，出现一些器件无法启动，造成测试失败；低温运行测试是测试电子产品在低温条件下的工作情况，是在系统启动后进行的测试，一般问题不大，电子产品在运行后产生一些热量，元器件启动后一般不会出现问题。

（2）高温测试分为高温运行测试和高温老化测试。高温运行测试一般是采用输入电源的上限值进行供电，连续工作至规定的时间，在整个过程中检测设备的功能。高温老化测试持续的时间比高温运行时间长，筛选器件缺陷，确定稳定的产品，一般经过老化试验后，在现场出现问题的概率比未经过老化测试的少很多，一些电子产品新的技术条件中也增加了高温老化试验项目，以提高产品的稳定性。

（3）振动、冲击试验是考察电子产品设备及系统在振动、冲击环境下设备的性能是否出现下降、设备外壳是否牢固、试验后设备的绝缘性能是否出现下降，以及试验后设备的功能是否出现异常。振动、冲击试验一方面是从安全角度出发的，是否影响操作使用人员的安全问题；另一方面是从稳定可靠性方面考虑的，试验后设备工作是否正常。振动冲击试验是模拟现场条件，轨旁设备、起重设备、车载设备一般是需要进行测试的。

（4）防水、防尘测试主要是测试电子的外壳防护能力，一般是针对工作在潮气、尘等恶劣环境下的电子产品。电子设备可能由于水、尘的侵入使其功能异常。

（5）盐雾测试是针对工作在海边和腐蚀环境下的电子设备的测试。电子设备的腐蚀会带来多方面的问题，如接触件的腐蚀会产生接触不良，产生错误信息，使系统无法正常工作。

4. 电磁兼容测试

常见的电磁兼容测试项目包括静电放电抗扰度试验、射频电磁场辐射抗扰度试验、电快速瞬变脉冲群抗扰度试验、浪涌（冲击）抗扰度试验、射频场感应的传导骚扰抗扰度试验、工频磁场抗扰度试验、脉冲磁场抗扰度试验、电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验、振铃波浪涌抗扰度试验、交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验、电源线上的传导发射、系统的辐射发射测试等。电磁兼容测试项目及测试依据如表 2.1 所示。

表 2.1　电磁兼容测试项目及测试依据

序　号	测 试 项 目	测 试 依 据
1	静电放电抗扰度试验	GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术静电放电抗扰度试验
2	射频电磁场辐射抗扰度试验	GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术射频电磁场辐射抗扰度试验
3	电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
4	浪涌（冲击）抗扰度试验	GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术浪涌（冲击）抗扰度试验
5	射频感应的传导骚扰抗扰度试验	GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术射频感应的传导骚扰抗扰度试验
6	工频磁场抗扰度试验	GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术工频磁场抗扰度试验
7	脉冲磁场抗扰度试验	GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术脉冲磁场抗扰度试验
8	电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验	GB/T 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验
9	振铃波浪涌抗扰度试验	GB/T 17626.12 电磁兼容 试验和测量技术振荡波抗扰度试验

续表

序　　号	测 试 项 目	测 试 依 据
10	交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验	GB/T 17626.13 电磁兼容试验和测量技术交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频抗扰度试验
11	传导发射	GB 9254 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法
12	辐射发射	GB 9254 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法

电磁兼容测试项目介绍如下。

（1）静电放电抗扰度试验主要是测试电子产品设备及系统在操作人员接触时可能产生静电放电干扰对设备的影响，操作人员可能携带高压静电，在与设备接触时发生泄放。静电放电可能使电子设备死机和功能异常等，静电干扰威胁电子设备的安全，可以通过安装 ESD 器件和对设备外壳导电一致性的处理来有效抵御静电干扰。

（2）射频电磁场辐射抗扰度试验是模拟电子设备工作现场射频电磁场干扰，电子设备的工作现场可能存在多个电子设备，其他电子设备工作时可能产生各种电磁场，而该电子设备的线缆可能会接收到这些干扰而进入到产品内部，影响设备工作。可以通过对线缆的屏蔽接地处理和设备外壳的屏蔽来有效抵御射频电磁场的辐射干扰。

（3）电快速瞬变脉冲群抗扰度试验是模拟现场的脉冲干扰对电子设备的通信和电源产生的影响，脉冲群干扰可能使电子设备通信出现错误、中断和失效等，对通信线缆影响很大，一般是暂时性的失效，可以通过隔离与滤波处理。

（4）浪涌（冲击）抗扰度测试主要是模拟现场大的感性负载在通断时产生的干扰，可能使电子系统的电源设备出现失效。可以安装浪涌抑制保护器及在板级进行过压防护处理，从而抵御浪涌的干扰。

（5）射频场感应的传导骚扰抗扰度试验是模拟现场射频场感应传导骚扰，主要通过线缆传导影响电子设备工作。主要通过隔离来切断射频场传导的通道，通过线缆的屏蔽接地以减少其感应量，从而提高系统的抗干扰能力。

（6）工频磁场与脉冲磁场抗扰度试验主要是模拟现场的工频磁场和脉冲磁场干扰，通过空间环境影响电子设备工作，对以电磁场原理工作的电子设备影响比较大，做好系统的屏蔽，可以有效减小工频磁场与脉冲磁场的影响。

（7）电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验主要是模拟现场电源电压的波动、中断及变化，对系统的电源有直接的影响，大的电子设备一般配置有 UPS，实现 UPS 与电源的无缝切换，从而保证设备的正常工作。

（8）振铃波浪涌抗扰度试验是模拟现场电源线可能产生的振铃波浪涌干扰，影响电子设备的电源系统与通信系统。可以通过安装浪涌保护器对其进行抑制，避免输入输出线缆之间的交叉，从而起到保护电子设备的目的。

（9）交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验是一项考察电子设备系统电源部分的抗扰能力，实际的电网中存在各种谐波、谐间波及低频干扰，主要通过电源内部的滤波和隔离措施进行防护。

（10）电源线上的传导发射试验是测试电子设备向电网发散的电磁场干扰。任何电子设备工作时，都会通过线缆（电源及通信线缆）向其他设备传导干扰，标准中对限值进行了规定，

不允许超过限值。

（11）系统的辐射发射测试是针对整个电子设备向工作环境辐射的电磁干扰。电子设备工作时，会向空间辐射干扰，其线缆充当了辐射天线的作用，标准中对辐射量进行了明确的规定，不允许超过限值。

5. 雷电防护测试

雷电防护测试是指对系统电源端口、通信端口和 I/O 端口进行的测试。各行业采用的波形和电压值有所不同。它主要是模拟实际雷击干扰对电子系统的影响。雷击干扰会通过设备的输入、输出线缆引入到系统内部，如果防护不好，很容易引起设备的损坏，一旦损坏是无法修复的。

雷电防护一般分别进行横向测试（线间）和纵向测试（线地）。纵向测试的电压值高，横向测试一般为纵向测试值的一半。

雷电防护测试可以通过浪涌抑制器、隔离变压器和气体放电管等进行防护，可以进行多级防护，从而实现对雷击电压和电流的助剂泄放，达到防护的目的。

2.2.2 硬件测试标准

硬件测试标准是硬件测试的基本依据，是各国学者及专家经过长期的实践验证总结出来的。电子产品设备及系统的技术条件在编制时会参照这些标准进行，直接引用这些研究成果，从而保证产品的稳定可靠运行。

硬件测试标准来源于产品的设计标准，产品标准是贯穿于整个产品设计开发及测试的整个过程之中的，任何设计和测试都需要依据标准进行。

测试标准中规定了具体的测试方法、测试类型、测试等级及测试顺序，测试时要按照标准中规定的方法进行，对所有要求测试的都需要进行测试。选择测试等级时，可以根据测试项目特点适当地提高测试标准。测试顺序对产品的测试结果是有影响的，要按照技术条件中规定的试验顺序进行测试。

测试标准对一些术语也进行了清晰的解释，一个标准就是一部完整的著作，其内部结构比较清晰，若存在引用其他标准的情况，其内容都可以找到相关依据。标准中对试验报告也做了规定，规定试验报告中应包含哪些方面和哪些信息等。

对电子产品熟悉的同时也需要对测试标准加强学习，了解测试的目的、方法及常用的处理方法，从而才能在测试时做到游刃有余。

测试标准一般分为基础标准、通用标准、行业标准和专用标准，如图 2.2 所示。

1. 基础标准

基础标准是制定产品标准、行业标准和通用标准的基础。基础标准一般描述环境特征、试验方法、试验仪器、试验等级和基本试验装置等，一般不涉及具体的产品。

基础标准一般针对各个行业，不规定具体要求，各个行业再依据基础标准进行细化，确定满足的等级及要求。

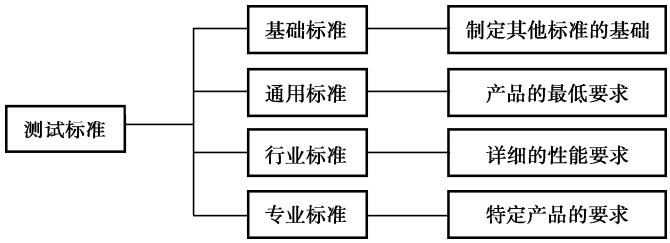


图 2.2　测试标准的分类

基础标准对各种试验方法进行了规定，产品类标准只引用其试验方法代号，而不再对试验方法进行阐述。

2. 通用标准

通用标准是针对没有产品类标准的产品与没有产品标准的产品而制定的，是在特定环境下规定了产品的最低要求。它适用于特定环境下的所有产品及系统。

3. 行业标准

行业标准是指一组类似产品的标准，也称为产品类标准。行业标准比通用标准包含了更多的特殊性和详细的性能要求。

4. 专用标准

专用标准是针对具体产品而制定的标准，是将技术要求编写到了产品的技术条件中而形成了独立的标准。

2.2.3　硬件测试技术

硬件测试是产品设计开发过程中重要的一项活动，硬件测试的目的是通过测试发现电子产品的薄弱环节，对电子产品进行升级整改，从而达到提高其稳定可靠性的目的。硬件测试本身并不能提高产品的可靠性，但是可以通过测试去发现设计缺陷和验证设计的效果。

硬件测试是一种考量电子产品稳定可靠性的方法，它注重的是测试方法、试验布置和试验等级，标准中对其都进行了明确的说明，在测试中必须按照标准执行。

（1）测试方法的不同，可能会带来不同的测试结果。电子产品的技术条件或检验细则中都会规定具体的测试方法，考察产品的特定性能，有可能是将不同的方法结合在一起进行测试，同时考察多方面性能，如电子产品的低温测试一般是首先进行低温存储一段时间后，再进行低温启动，在低温环境下工作一段时间也就是低温运行测试了，试验同时考察了电子的低温存储、低温启动、低温运行三方面的性能，也节约了时间。

（2）电子产品的布置对试验结果影响很大。有些产品进行温湿度试验时，离试验箱体太近就无法正常工作，标准中规定了距箱体的最短距离。电磁兼容测试与被测设备的布置有很大关系，在相关标准中，对各种设备的布置进行了说明。落地设备和台式设备的布置要求是不一样的，在测试前都需要进行调整，从而符合标准规定。

（3）电子产品的试验等级可以被认为是电子产品设备需要满足的最低标准，电子产品的设

计应该高于标准。有些产品的标准在设计之初没有考虑周全，会遗漏或者部分测试项目有不妥之处，这就需要设计人员根据同类产品的标准及设计规范来完善设计，当然，标准设计部门也会根据反馈意见及时对标准进行修改调整。

硬件测试要求包括电子产品正常使用时的所有设备及接口，保证被测对象是按照产品的最完整系统，可以采用实际设备进行连接，也可以采用模拟的方式，按照现场的方式进行连接和防护，在有些测试中，辅助测试设备会影响判断被测设备的结果，采用测试时断开辅助测试设备，测试后连接以观察设备是否正常工作，来说明被测设备是否通过测试。

硬件测试与设备的输入有一定的关系。在电子产品的检验细则中会规定不同的试验项目采取不同的输入条件进行测试，如低温启动测试要求采用系统输入电源的下限值进行供电，而在高温测试时选用系统输入电源的上限值进行供电。

不同的硬件测试阶段有不同的测试目的，考察的测试项目有所不同，测试的重点有所差异。

1. 选型测试

选型测试是对元器件进行筛选，主要关注元器件的各方面性能，测试元器件在工作温度范围内能否正常启动、是否工作正常、是否具备正常防护性能。例如，电源的过压保护、过载保护和短路保护，都应该进行测试，还应测试器件的功耗和故障率等，选型测试一般是多个同类产品一起测试，通过测试选择使用的元器件。

选型测试关注器件本身的技术参数要求，主要是验证电子元器件与技术参数要求的符合情况，一些元器件与厂家宣称的技术参数有很大差异，因而就需要同选型测试进行验证。与电子产品相关的技术参数要重点进行测试，或者适当的提高标准进行测试，适合多家产品在一起的对比测试，有些厂家设计的元器件是有一定余量的，那么在测试中就会脱颖而出，性能高于其他元器件。

2. 单元测试

单元测试是电子产品的一个子模块，完成一项或几项单一的功能，在测试中关注单元的功能，根据其在整个系统的位置和作用来选取测试项目。若单元在系统前面板安装，或者使用人员在操作时需要接触的设备，需要进行静电放电抗扰度试验；若单元模块的供电是由系统独立的供电模块供电的，那么针对电源端口进行的测试就不需要了，在系统测试时再进行测试；若单元模块只参与系统内部的采集或控制，线缆没有出机柜和机箱，那么对其输出线缆不需要进行线缆端口的测试。

单元测试中，一些常规的测试是需要进行的，如绝缘测试、低温测试和高温测试，只有这些性能都满足了，才能保证组成系统后的相关性能满足要求，否则会陷入反复设计的“怪圈”中，影响整个设计开发进程。

3. 集成测试

集成测试是针对几个单元模块组合起来的子系统，完成系统的一部分功能，如各种采集机组合的采集系统，实现对现场各种信号的采集。实践表明，一些单元模块虽然能够单独地工作，但并不能保证连接起来也能正常地工作。

集成测试之前，单元测试应该已经完成，集成测试中所使用的对象应该是已经经过单元测

试的单元模块。各单元模块通过通信线连接在一起，相当于多个接口通过总线进行连接，主要测试总线仲裁、占用及校验等功能，以及一个单元模块的故障是否影响其他单元的正常工作。

通信一般在设计中进行冗余设计，从而提高系统的稳定可靠性，当一个通道故障时，单元模块还可以通过另一通道进行正常工作。多单元模块在通信时，需要注意匹配电阻，因为阻抗的不匹配影响通信的稳定性，从而在同轴通信中，严禁不同阻抗的同轴电缆混用。

集成测试参照子系统在整个系统中的位置、连接情况和作用等因素选择测试项目。它要测试单元模块之间的配合情况，接口数据是否丢失、是否出现错误，模块之间的相互影响情况，以及误差的累积是否可以接受。

集成测试需要测试其子系统功能是否符合预期，是否按照设计的思想进行显示、判断和输出，对子系统的稳定性需要进行测试，保证其连续无故障可靠运行。及时发现设计缺陷，及时处理，越早处理，影响越小，花费的成本也就越少。

4. 系统测试

系统测试是对电子产品进行最大程度的集成，包含系统的所有功能模块单元，对电子产品系统进行所有功能的验证测试。

系统测试应该依据产品的技术条件，编写完整的测试用例，对系统进行全面的测试，对系统的电源端口、通信端口和 I/O 端口都需要进行测试。

系统测试首先应进行常温功能测试，测试系统的正常功能是否满足产品需求，是否满足用户需求，按照详细设计，逐步进行测试。

在系统测试之前，可以首先对容易出现问题的测试项目进行摸底测试，对系统的薄弱环节首先进行测试，从而发现设计缺陷，缩短测试过程，加快测试进程。

系统测试最终需要进行一次全面测试，对薄弱部分处理后的测试会比较顺利。硬件系统测试在不出现问题的情况下是比较快的。

系统测试是电子产品现场试运行前的前面测试，测试可能出现多次回归测试，在测试中可能会出现设备集成问题，一旦出现问题就需要再次进行全面的测试，不要想当然地认为某些测试不会出现问题而忽略某项测试。

系统测试有必要适当提高测试标准测试，系统测试从问题表象上不容易分析出哪个模块出现了问题，会牵涉到多个模块，如环境类的高温测试，电子设备工作在临界条件下是很危险的，通过提高温度测试，发现设计缺陷，排除隐患，提高系统的稳定可靠性。

系统测试中可能存在某些问题不容易复现，对这些问题要特别注意，在一定条件下，系统还会出现，分析出现问题时的数据及状态，找到可能的原因进行验证。如果不出现，可以借助测试设备，适当地提高标准进行测试。

系统测试中放过的任何问题，都可能会为后面的工作埋下隐患，造成比较大的损失。在测试时需要特别关注系统的异常情况，认真分析，找到问题的原因，制定合理的措施，对产品进行改进。

系统测试一定要遵循规定的试验顺序。试验顺序充分考虑了各测试项目对产品的影响，试验顺序的不同，可能会产生不同的测试结果。例如，一般环境测试在电磁兼容测试、雷电防护测试之前，经过电磁兼容测试和雷电防护测试的设备再进行环境测试容易出现问题，前者测试对电子的设备损伤是比较大的，可能产生一些隐性的伤害，在环境条件恶劣的情况下，出现工

作不正常。

5. 回归测试

回归测试是针对测试中出现的问题测试，有部分回归测试和全回归测试两种。部分回归测试是依据测试问题的影响方面进行测试；全回归测试是对产品系统的全部测试。部分回归测试主要用于产品设计过程中对问题的验证，需要注意问题的影响方面，分析问题可能会引起的变化，重点采取对这些项目的测试。

部分回归测试可以加快产品改进进程，缩短测试的时间，但是，部分回归测试存在一定的风险，可能会遗留问题缺陷，因此，在产品的最终测试前是需要进行一次全回归测试的。

6. 验收测试

验收测试是产品在现场安装调试完成后进行的测试，主要对产品的功能进行测试。验收测试一般是在系统各项功能调试完成后进行的测试，包含对用户的交接与培训。

验收测试包括故障排查测试和设备维护保养等。在测试中，需要以用户的身份进行测试，测试产品是否符合现场的需要。

2.3 小结

硬件测试是考察电子产品设计及系统在各种环境下，产品能否正常工作，产品的各方面性能是否出现下降。硬件测试是产品发布和认证必须进行的测试。

硬件测试根据其在产品生命周期中的不同阶段，可以分为选型测试、单元测试、集成测试、系统测试和验收测试。通过硬件测试的预期结果判断产品是否符合要求。测试中可能出现一些问题，根据问题的严重程度与影响范围确定问题的等级。

硬件测试一般包括常温功能测试、绝缘测试、环境测试、电磁兼容测试和雷电防护测试。不同的电子产品可能有不同的要求，根据电子产品的技术条件和检验细则确定采用的试验方法和试验等级。

硬件测试的标准分为基础标准、通用标准、行业标准和专用标准。电子产品在需求分析阶段需要考虑相关的标准，产品的技术条件明确规定了产品的技术要求，针对技术要求规定试验方法，试验方法大都是引用相关标准中的规定。

电子产品的设计是一个逐步改进的过程，硬件测试是一个逐步积累的过程，继承每次测试的相关经验，对产品进行尽可能的全面测试。

硬件测试在不同的测试阶段，测试重点有所不同。根据所处的测试阶段，选择测试项目。测试要按照标准的试验方法进行，测试等级可以根据实际情况有所提高。

测试过程一般包括测试计划、测试用例设计、测试执行阶段、测试记录、测试评审（可选）和测试报告 6 个阶段。

（1）测试计划是对测试任务的统一安排，要细化到具体的测试项目、测试人员和计划时间。

（2）测试用例设计需要结合产品的需求和标准进行设计，考虑用户的隐性需求，要尽可能的全面准确，测试用例应该细化到每一步操作及预期结果。



（3）测试执行阶段要保证对测试用例的认真执行，在测试过程中详细记录出现的问题，问题应该尽可能地被复现，严重的问题需要设计人员现场确认。

（4）测试记录是将测试执行阶段中出现的问题详细记录。

（5）测试评审是对测试问题的讨论，是对测试工作的总结，可以讨论下一步的工作安排。测试评审可以作为测试结论的依据。

（6）测试报告需要包括测试仪器、测试对象的描述、测试中出现的严重问题和测试结论等，它是针对测试对象而言的，只对测试的版本有效。

测试是一个完整的过程，在产品设计阶段就需要介入，参与产品的需求分析，参与设计讨论，全面熟悉产品，才能设计出全面的测试用例，才能保证测试效果，通过对产品的全面测试，才能保证产品的稳定可靠工作。

测试是贯穿于整个产品生命周期的一项活动。单元设计阶段需要进行单元测试，集成阶段需要进行集成测试，产品设计出来后需要进行系统测试，现场试用时需要进行验收测试，以及长时间的稳定性测试。测试与设计密切相关，测试应该发挥其作用，共同提高产品的稳定可靠性。

第 3 章

环境测试

本章主要介绍环境测试方面的知识。环境测试是电子产品系统的常规测试项目，主要测试产品系统在低温、高温、湿热、盐雾和振动等环境条件下，产品能否正常工作，是否符合相关标准的要求。

本章首先从环境测试的基本概念入手，介绍常见的测试项目、测试标准和测试方法。其次，针对测试中的问题阐述设计措施。最后，结合测试实例，介绍在环境测试中的注意事项、规范要点和理论思想。

环境测试包括低温试验、高温试验、湿热试验、盐雾试验、防水试验、防尘试验、振动试验和冲击试验等。

低温存储试验主要测试系统在低温下存储一段时间后，测试系统能否正常启动，启动后能否正常工作；高温试验主要测试系统在特定的温度下能否正常工作；湿热测试主要测试在湿热试验后系统的绝缘性能能否满足要求；盐雾试验主要测试系统是否具有耐腐蚀性，是否满足相关标准要求；防水试验和防尘试验属于外壳防护类的测试，主要测试系统的外壳防护是否满足相关标准的要求；振动、冲击试验主要检测系统的结构及器件能否满足要求。

环境测试一方面与系统的器件选型有很大关系，系统的环境性能主要取决于内部器件的环境性能，另一方面系统环境性能也取决于系统的结构，系统的结构是否利于内部器件的散热，是否提供通畅的散热通道，只有在器件选型和结构设计两方面进行合理的设计，才能保证系统良好的环境性能。

环境测试的标准大都是依据 GB/T2423 系列标准进行测试的，标准中规定了各种测试方法及建议的测试时间，行业标准中规定了采用的测试方法和测试时间。

本章节将重点介绍环境测试的项目、方法及标准，结合实际情况介绍设计要点，总结测试理论，加强产品系统环境设计。

3.1 概述

3.1.1 环境测试基础

环境测试是电子产品及系统在正常运行过程中，在一定的温度下测试其能否长期正常工

作；在不同环境条件下，系统能否正常启动，能否正常工作；在湿度比较高的情况下，系统的绝缘性能是否满足要求；在室外环境下，系统的耐腐蚀性是否满足要求；在振动、冲击条件下，系统的结构和绝缘性能是否出现变化，是否符合标准要求。

环境测试是电子产品及系统的一项常规测试，是在产品及系统设计过程中必测的项目。有研究部门统计，热失效占电子产品系统故障失效的一半以上，因此环境测试显得更为重要。环境测试发现设计中的缺陷，通过测试系统在温度及湿度下的一定时间测试，检测系统的各方面性能是否符合要求，为系统的整改提供数据，提高系统的稳定可靠性。

环境测试是为了测试产品在各种环境条件下工作或储存时的可靠性，为设计、生产和使用提供有用的信息，充分暴露产品的潜在缺陷，为产品系统的改进和减少产品系统后期维护成本提供保障。通过环境测试，可以提供设计质量和产品质量两方面的信息，是产品系统质量保证的重要手段。

电子产品及系统分为散热产品和非散热产品，大部分的产品及系统在工作中都会产生一定的热量，大都属于散热产品。

环境测试的作用如下所示。

（1）用于产品研究性测试。研究性测试主要用于产品系统的设计和设计阶段，用于考核所选用的电子元件、设计结构及采用的工艺等能否满足实际环境要求，发现存在的问题。可以参考测试标准，进行适当的余量测试，一般为 5～10℃。

（2）用于产品定型测试。定型测试是用来确定产品系统能否在预定的环境条件下达到规定的设计技术指标和安全要求。定型测试是最全面的测试，按照技术条件进行测试。

（3）用于生产检查测试。生产检查测试主要用于生产装配完成后，测试产品系统是否满足设计要求，测试系统的质量稳定性。

（4）用于产品的验收测试。验收测试是指产品出厂时进行的一些项目的试验。一般设备出厂时，都是一批数量比较多，按照一定的抽样原则进行抽样测试。

（5）用于安全性试验。用环境测试可以检查产品是否危害健康及生命问题，用各种振动测试来检查产品安装、结构及连接的牢固性，以防止造成人身伤亡事故或撞坏其他设备。安全测试通常采用更严酷的试验等级进行。

（6）用于可靠性测试。可靠性测试是由环境试验、长寿命试验、现象试验和组合试验等组成，环境试验是其中的主要组成部分，也是提高产品系统可靠性的重要手段。

环境测试按照不同分类的原则可以进行不同的分类，IEC（国际电工委员会）对环境测试的分类具体如下所示。

（1）气候环境因素，如温度、湿度、压力、日光辐射、沙尘和雪等。

（2）生物及化学因素，如盐雾、霉菌、二氧化硫和硫化氢等。

（3）机械环境因素，如振动（含正弦、随机、扫频）、碰撞、跌落、摇摆和冲击等。

（4）综合环境因素，如温度与湿度，温度与压力，温度、湿度与振动等。

按照测试项目分为：低温、高温、恒定湿热、交变湿热、低气压、振动、冲击、日光辐射、沙尘、淋雨和盐雾等。在上述试验项目中又可分为单因素、综合及组合试验。在实际测试中，温度、湿度和振动三因素的测试比较常见。

3.1.2 环境测试标准

环境测试标准中规定了具体的测试方法、持续时间、初始检测、中间检测、最终检测和恢复等方面的内容。标准大都是引用 GB/T 2423 系列（等同于 IEC60068）标准。在国军标中，只是测试参数和持续时间的不同，测试方法与国标中相同。常见的各行业测试标准如下所示。

GJB 4.5—1983《舰船电子设备环境试验　恒定湿热试验》

GJB 4.6—1983《舰船电子设备环境试验　交变湿热试验》

GJB 367.2—1987《军用通信设备通用技术条件　环境试验方法》

GB 16838—2005《消防电子产品环境试验方法及严酷等级》

GB/T 15430—1995《红外探测器环境试验方法》

GB/T 11606—2007《分析仪器环境试验方法》

GB/T 12085.2—2010《光学和光学仪器　环境试验方法　第 2 部分：低温、高温、湿热》

GB/T 2423.1—2008《电工电子产品环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 A：低温》

GB/T 2423.2—2008《电工电子产品环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 B：高温》

GB/T 2423.3—2008《电工电子产品环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 Cab：恒定湿热试验》

GB/T 2423.4—2008《电工电子产品环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 Db：交变湿热试验》

GB/T 2423.10—2008《电工电子产品环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 Fc：振动（正弦）》

GB/T 2423.56—2008《电工电子产品环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 Fh：宽带随机（数字控制）和导则》

GB/T 2423.58—2008《电工电子产品环境试验 第 2～80 部分：试验方法 试验 Fi：混合模式》

GB/T 2423.5—1995《电工电子产品环境试验　第 2 部分：试验方法　试验 Ea 和导则：冲击》

GB 4208—2008《外壳防护等级（IP 代码）》

GB/T2423.37—2006《电工电子产品基本环境试验规程　试验 L：沙尘试验》

GB/T 2423.38—2008《电工电子产品 环境试验　第 2 部分　试验方法　试验 R：水试验方法和导则》

GB/T 2423.37—2006《电工电子产品环境试验　第 2 部分　试验方法　试验 L：沙尘试验》

GB/T 2423.17—2008《电工电子产品环境试验　第 2 部分　试验方法　试验 Ka：盐雾》

GB/T 2423.18—2012《电工电子产品环境试验　第 2 部分　试验方法　试验 Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）》

3.1.3 环境测试方法

常见的环境测试项目有低温测试、高温测试、湿热测试、振动测试、冲击测试、防水防尘测试和盐雾测试等，如下将逐一介绍测试方法。

一般测试需要经过初始检测、试验样品的安装、中间检测、恢复和最后检测几个过程。

（1）初始检测。在进行任何环境测试以前，试验样品应在正常的试验大气条件下，按照设备有关标准或技术条件规定，对其电性能、机械性能及外观进行检测，并记录作为试验期间或最后检验判别的依据。

（2）试验样品的安装。按照实际使用状态，试验样品在试验箱中安装，应尽可能安装在试验箱中间，若需要在试验过程中工作，需要将各种线缆引出试验箱。

（3）中间检测。试验期间要求试验样品工作时，应进行检测，与初始检测指标比较，从而确定是否符合技术条件要求，且不允许试验样品移出试验箱。

（4）恢复。试验样品在标准环境条件下恢复，恢复时间应足以使温度达到稳定，至少 1h。

（5）最后检测。恢复期结束后，应按照有关标准和技术条件规定对试验样品进行外观、电气和机械性能检测，并与初始检测数据比较，获得试验结果。

1. 低温测试

电子产品及系统大都遵循 GB/T2423 标准的测试方法，在标准 GB/T 2423.1—2008《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温》中，规定了非散热试验样品的低温试验（试验 Ab）、散热试验样品温度渐变的低温试验（试验样品在温度稳定后通电，试验 Ad）和散热试验样品温度渐变的低温试验（试验样品在整个试验过程通电，试验 Ae）三种试验方法。试验箱内温度变化率不应超过 1℃/min。

1）试验 Ab

Ab 试验方法用来进行非散热试验样品的低温试验，试验样品在低温条件下放置足够长时间以达到温度稳定。将试验样品放入温度试验箱中，然后将温度调节到标准要求的等级温度。当试验箱温度达到稳定后，试验样品在该条件下暴露到规定的持续时间，对于试验需要通电的设备，应在温度稳定后通电，根据要求进行功能检测，这种情况下，还需要一段时间达到稳定，然后在该条件下暴露到规定的持续时间。本试验方法通常是在非工作状态下进行试验。

2）试验 Ad

Ad 试验方法用来进行散热产品的低温试验，将试验样品放置在试验箱中，设定要求的等级温度，温度稳定一段时间后，设备加电，进行标准要求的功能检测，并维持到相关规范要求的持续时间。

3）试验 Ae

Ae 试验方法要求整个过程中通电，将试验样品放置在试验箱中，设定要求的等级温度，温度稳定至所要求的持续时间。

2. 高温测试

在标准 GB/T 2423.2—2008《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温》中，规定了非散热试验样品的高温试验（试验 Bb）、散热试验样品温度渐变的高温试验（试验样品在升温调节期不通电，试验 Bd）和散热试验样品温度渐变的高温试验（试验样品在整个试验过程通电，试验 Be）三种试验方法。试验箱内温度变化率不应超过 1℃/min。

1）试验 Bb

Bb 试验方法用来进行非散热试验样品的高温试验，试验样品在高温条件下放置足够长时间以达到温度稳定。将试验样品放入温度试验箱中，然后将温度调节到标准要求的等级温度。

当试验箱温度达到稳定后，试验样品在该条件下暴露到规定的持续时间，对于试验需要通电的设备，应在温度稳定后通电，根据要求进行功能检测，这种情况下，还需要一段时间达到稳定，然后在该条件下暴露到规定的持续时间。本试验方法通常是在非工作状态下进行试验。

2）试验 Bd

Bd 试验方法用来进行散热产品的高温试验，将试验样品放置在试验箱中，设定要求的等级温度，温度稳定后，并维持到相关规范要求的持续时间。给设备加电，进行标准要求的功能检测。

3）试验 Be

Be 试验方法要求整个过程中通电，将试验样品放置在试验箱中，设定要求的等级温度，且温度稳定至所要求的持续时间。

3. 湿热测试

湿热测试分为恒定湿热试验（试验 Cab）和交变湿热试验（试验 Db）。恒定湿热测试在吸收、吸附或扩散起主要作用的场合下使用。用来确定材料在潮湿空气中保持电气性能的能力，或评价封装元件和组件防止水汽扩散的能力；交变湿热测试适用于以产生凝露或使水汽侵入并形成液态水为重要特征的各种场合，变化 1 适用于以吸收或呼吸效应为重要特征的所有场合，例如，湿气渗透的样品，内表面形成凝露。凝露是指试验样品的表面温度低于周围空气的露点温度时，水蒸气在该表面上析出的现象，即水由气态转变为聚集的液态，变化 2 适用于吸收或呼吸效应不太显著的场合。

1）恒定湿热

在标准 GB/T 2423.3—2008《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验》中规定，除非有特殊规定，试验样品在无包装和不通电的状态下放入试验箱，按照试验等级要求设定试验箱温度及湿度，在 2h 之内，达到规定的试验等级，开始计算持续时间，产品的规范中规定了试验持续时间。恢复后进行电气性能和机械性能的检测，以判断是否符合标准要求。

2）交变湿热

在标准 GB/T 2423.4—2008《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Db：交变湿热试验》中规定了稳定期、24 小时循环、恢复和最终检测等过程。

（1）稳定期。试验箱的温度应稳定在 25℃±3℃，其相对湿度必须在规定的试验用的标准大气条件下的限值内。样品在稳定期之后，箱内的相对湿度应升到不小于 95%，环境温度为 25℃±3℃。

（2）24 小时循环。箱内温度应升到标准所规定的高温值，在 3h±30min 之内应该达到高温，其温升速率应满足相关要求。该阶段的相对湿度应不小于 95%，最后 15min 内的相对湿度应不小于 90%。在温度上升阶段，试验样品上可能出现凝露。温度应保持在规定的高温限值±2℃内，直至从循环开始的 12h±30min 为止，本阶段的最初和最后 15min 内，相对湿度应在 90%～100%，其余时间相对湿度应在（93±3）%。温度可以按照以下两种方式进行降温。

方法 1：温度应在 3～6h 内降到 25℃±3℃，最初的 1.5h 的降温速率应按照标准要求，在 3h±15min 内温度达到 25℃±3℃，在最初 15min 相对湿度应不小于 90%，其余时间的相对湿度应不小于 95%，如图 3.1 所示。

方法 2：温度应在 3～6h 内降到 25℃±3℃，相对湿度应不小于 80%，如图 3.2 所示。

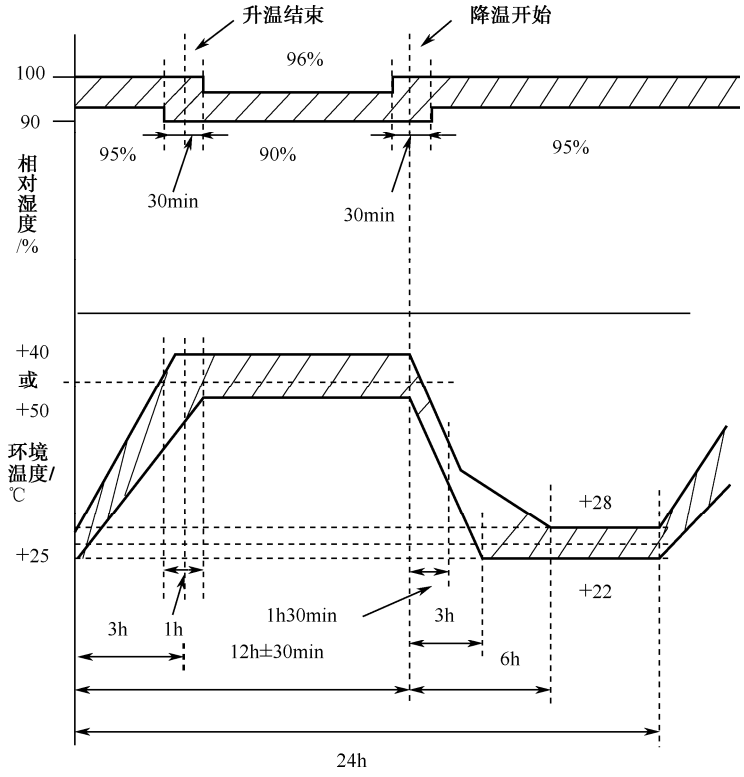


图 3.1　交变湿热试验，试验循环方法 1

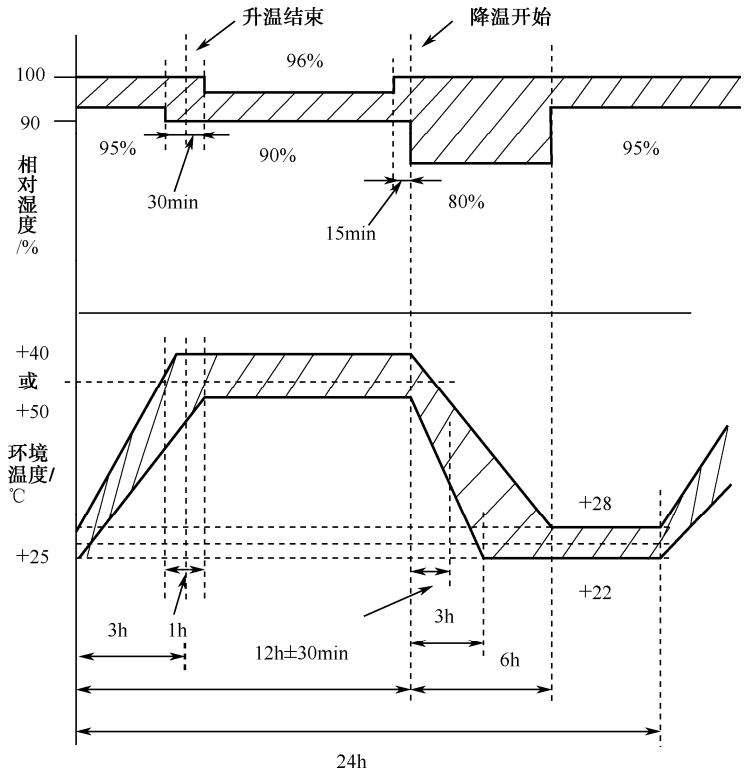


图 3.2　交变湿热试验，试验循环方法 2

温度应保持在 25℃±3℃，相对湿度不小于 95%，直至 24 小时一个循环结束。

（3）恢复。有关标准应规定是在实验用的标准大气条件下恢复，还是在受控的恢复条件下进行。如果用受控的条件恢复，试验样品可以转换到另一箱中，也可以留在湿热箱中进行恢复。前一种情况，转换时间应尽可能的短，不超过 10min，后一种情况，在 1h 之内将相对湿度降到（75±2）%，然后在 1h 内将温度调整到实验室温度±1℃。恢复时间的计算（1～2h）是从规定的恢复条件达到时算起。

（4）最终检测。测量应在恢复期结束之后马上进行，对湿度最敏感的参数要最先测量，除非有相关规定，所有参数的测量应在 30min 之内完成。例如，某机车设备标准中的要求如下。

① 先将箱温调至（25±3）℃，并保持此值，相对湿度调至 45%～75%，进行 2～6h 稳定温度处理。在最后 1h 内，将箱内相对湿度提高至不低于 95%，温度仍保持（25±3）℃。

② 稳定阶段之后循环开始，使箱温在 2.5～3h 内由（25±3）℃连续上升到（55±3）℃，这期间除最后 15min 内相对湿度不低于 90%外，升温阶段相对湿度都不应低于 95%，以使试品表面产生凝露，但不得在大型试验样品上产生过量凝露。然后在温度为（55±2）℃的高温高湿环境下保持到从循环开始算起（12±0.5）h 为止。这一阶段的相对湿度，除最初的 15min 和最后的 15min 不低于 90%外，均应为（93±3）%。

③ 然后在 3～6h 内，将箱温由（55±2）℃降至（25±3）℃。最初 1.5h 的降温速率为 10℃/h，这期间的相对湿度除最初的 15min 内不低于 90%外，其他时间均不低于 95%。

④ 降温之后，温度保持（25±3）℃，相对湿度不低于 95%，从循环开始算起 24h 为一周期。两周期试验结束后，将样品放在正常的试验大气条件下恢复 1～2h，恢复时可以用手摇动，或用室温空气吹风来去除表面水滴。

⑤ 整个试验过程中设备不加电。恢复后立即进行外观检查、绝缘试验和性能试验。

4. 振动

振动试验是在振动台上采取不同的输入信号模拟真实振动环境对产品进行的测试。振动方式主要分为正弦振动和随机振动，两者是不同的物理过程，对被测设备产生不同的作用。

1）正弦振动

正弦振动试验使用固定频率或变化频率和幅值的正弦信号，在每一瞬时只施加一个频率。试验的条件包括频率范围或固定频率、振幅和试验持续时间。

真实的环境中正弦振动很少以一个单一频率的振动形式独立出现。它可以描述为确定性运动，遵循确定的规律，完全可以从过去的状态推理未来任意时刻的状态。

正弦振动通常用来确定出现失效的时刻，因为失效很可能和特定的频率密切相关，通常需要用更长的时间激发出失效。主要是用在设计和研制试验中，使扫频速率足够慢，使被测设备在特定共振峰达到最大，以发现潜在的破坏共振点。

正弦试验的优点是试验设备成本低，振动响应易于观察，可以用于短时间的定振幅疲劳试验。缺点是可能出现失效模式和失效位置与实际情况不相符。

2）随机振动

随机振动试验的激励使用一个无规则的随机输入信号，该信号在所有时间内包括规定频率范围内的所有频率分量，其瞬时值服从正态分布，在频率范围内的分布用加速度谱密度曲线表示。

随机振动是发生在真实环境中最常见的激励类型，它的未来瞬时值是不能以过去的状态来

预知的，只能基于概率进行预测，这种特性适用于疲劳、交变应力等大多数与随机振动相关的计算中。

在持续时间内随机振动始终在激励谐振，既有正向的也有负向的，这种性质影响疲劳累积损伤从而影响发生失效的预期寿命。

随机试验的优点是试验时许多谐振同时被激励，更符合实际情况。缺点是设备较为昂贵。

混合模式试验方法有正弦加随机、随机加随机和正弦加随机加随机三种方式。混合模式试验同时具备了正弦和随机试验的优点，可以更接近真实环境。

根据样品的使用类型和安装位置选择合适的振动方式，振动环境示例和推荐的试验方法如表 3.1 所示。

表 3.1　振动环境示例和推荐的试验方法

GB/T 2423 推荐的试验方法		混合试验方式 GB/T 2423.58—2008	随机 GB/T 2423.56—2008	正弦 GB/T 2423.10—2008
振动试验信号类型		随机+正弦	随机	正弦
样品的振动环境	存储		√	
样品的振动环境	便携式使用		√	
	运输		√	
样品的安装位置	建筑物/固定使用		√	
	安装或靠近旋转的部件			√
	轨道和道路车辆		√	
	样品靠近或固定在发动机上	√		
	喷气飞机	√		
	船舶螺旋桨驱动	√		
	航天飞船部件	√		

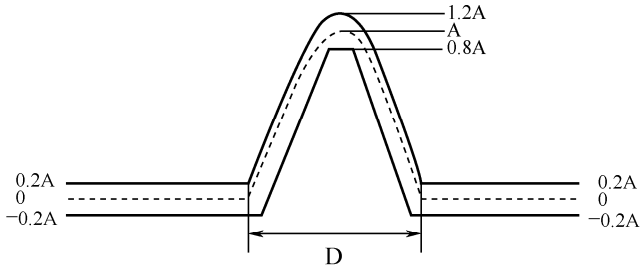
5. 冲击

冲击试验的目的是用来揭露机械弱点和（或）性能下降情况，用来确定样品结构的完好性，是作为质量控制的手段。在试验过程中，试验样品应直接紧固在台面上或通过夹具紧固在台面上，试验样品应按照现场运行的方式进行安装和固定。

在标准 GB/T 2423.5—1995《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Ea 和导则：冲击》中规定，除有关规范规定外，应对样品的三个互相垂直方向的每一个方向连续施加三次冲击，共 18 次，当多个相同的样品同时试验时，可通过不同方向的安装，以使样品能同时承受各方向上的冲击。标准中规定了三种脉冲波形即半正弦形脉冲、后峰锯齿形脉冲和梯形脉冲，并且在产品的标准中会明确用哪一种脉冲进行测试，半正弦形脉冲示意图如图 3.3 所示。

6. 防水测试

防水试验主要考虑的是水进入产品外壳或对产品表面特性的变化造成的影响。如电气绝缘闪络电压的降低。



D：标称脉冲的持续时间
A：标称脉冲的峰值加速度

图 3.3　半正弦形脉冲示意图

在标准 GB/T 2423.38—2008《电工电子产品 环境试验 第 2 部分 试验方法 试验 R：水试验方法和导则》中规定水试验分为三种。

试验 Ra：滴水，用人工降雨和模拟由冷凝或泄露形成降水的方法进行。

试验 Rb：冲水，用一定压力将水流冲击被测设备，可以从任何角度冲击。

试验 Rc：浸水，将被测设备浸入到规定深度或相应压力的水中。

1）试验 Ra

Ra 试验适用于运输、储存或使用期间可能遭受垂直降水的电子产品，这些降水来源于自然降水、渗透或冷凝水。试验分为人工降雨和滴水箱法。

标准中对降雨强度、持续时间和倾斜角进行明确的规定，且相关规范中给出明确的选择。

2）试验 Rb

Rb 试验适用于运输、储存或使用期间可能遭受冲水的电子产品，这些水来源于大暴雨、风吹大雨、洒水系统、车轮溅水或猛烈海浪。试验分摆动管法、喷雾法和喷水法。

标准中对水流量、喷水时间、喷嘴类型进行了明确的规定，且相关规范中给出明确的选择。

3）试验 Rc

Rc 试验适用于运输、储存或使用期间可能遭受浸水的电子产品。一般情况下用清洁的自来水进行测试。试验分水箱法和加压水箱法。

标准中对浸水深度、持续时间和压力进行明确的规定，且相关规范中给出明确的选择。

在标准 GB 4208—2008《外壳防护等级（IP 代码）》中，对防止水进入的等级进行分类，如表 3.2 所示。

表 3.2　第一位特征数字所表示的防止水进入的防护等级

IP 代码	防 护 等 级	
	简 要 说 明	含　义
IP×0	无防护	—
IP×1	防止垂直方向滴水	垂直方向滴水无有害影响
IP×2	防止外壳在 15° 范围内倾斜时垂直滴水	当外壳在 15° 范围内倾斜时垂直滴水无有害影响
IP×3	防淋水	各垂直面在 60° 范围内淋水无有害影响
IP×4	防溅水	向外壳各方向溅水无有害影响
IP×5	防喷水	向外壳各方向喷水无有害影响

续表

IP 代码	防 护 等 级	
	简 要 说 明	含　义
IP×6	防强烈喷水	向外壳各方向强烈喷水无有害影响
IP×7	防短时间浸水影响	浸入规定压力的水中经规定时间后外壳进水量不致达有害程度
IP×8	防持续潜水影响	按生产和用户上方同意的条件持续潜水后外壳进水量不致达有害程度

各防护等级的试验方法和要求如表 3.3 所示。

表 3.3　各防护等级的试验方法和要求

IP 代码	试 验 方 法	水　流　量	试验持续时间
IP×0	不需要时间	—	—
IP×1	使用滴水箱，外壳置于转台上	$1+0^{0.5}$mm/min	10min
IP×2	使用滴水箱，外壳在四个固定位置上倾斜 15°	$3+0^{0.5}$mm/min	每一个倾斜位置 2.5min
IP×3	使用摆管，与垂直方向±60° 范围淋水，最大距离 200mm 使用淋水喷头，与垂直方向±60° 范围淋水	每孔 0.07（1±5%）L/min 乘以孔数 10（1±5%）L/min	10min 1min/m^2 至少 5min
IP×4	使用摆管，与垂直方向±180° 范围淋水	每孔 0.07（1±5%）L/min	10min
IP×5	使用喷嘴，直径 6.3mm，距离 2.5～3m	12.5（1±5%）L/min	1min/m^2 至少 3min
IP×6	使用喷嘴，直径 12.5mm，距离 2.5～3m	100（1±5%）L/min	1min/m^2 至少 3min
IP×7	使用潜水箱，水面在外壳顶部以上至少 0.15m，外壳底部在水面下至少 1m	—	30min
IP×8	使用潜水箱，水面高度由用户和制造商协商	—	用户和制造商协商

试验的接受条件：试验后检查外壳进水情况，标准中应规定允许的进水量及耐压试验细节。

一般来说，如果进水，应不足以影响设备的正常操作或破坏安全性。水不积聚在可能导致沿爬电距离引起漏电起痕的绝缘部件上；水不进入带电部件；水不积聚在电缆头附近或进入电缆。

7. 防尘测试

在标准 GB/T 2423.37—2006《电工电子产品环境试验 第 2 部分 试验方法 试验 L：沙尘试验》中规定，沙尘试验分为三种类型，分别为 La、Lb 和 Lc。其中 La 为非磨蚀性细尘，本测试目的是检测样品的密封性能，被测样品暴露在滑石粉或其他相当细小的尘中，可能模拟由于温度交表在设备的影响；Lb 为自由降尘，本方法用于模拟有防护场所中沙尘的影响，样品暴露于低密度含尘大气中，间歇性的尘注入，由于其重力作用降落在样品上；Lc 为吹沙尘，本方法用于模拟户外和车载环境条件下沙尘对样品的密封性能和磨蚀影响。

1）试验 La

La 试验用于确定产品防止细尘侵入的防护程度。一般将被测设备不包装，不通电，在准备使用的状态下，按照正常使用位置放入试验箱。如果对多个设备进行测试，应注意样品之间不要接触，不要互相遮挡尘。相关规范可以要求样品在试验期间通电或运行。试验箱中的尘一般采用滑石粉，尘浓度应满足要求。按照规定设置试验箱温度，设置试验时间。

2）试验 Lb

Lb 试验的目的是确定自由降尘对电子产品的影响。一般将被测设备不包装，不通电，在准备使用的状态下，按照正常使用位置放入试验箱，试验箱温度应升至（40±2）℃，温度变化速率不超过 0.1℃/min，然后在 1min 内将尘注入试验箱中，让尘自由沉降 59min。调整尘注入时间以产生规定的沉降速率。

3）试验 Lc

Lc 本试验的目的是确定气流携带的粒子对电子产品可能造成的有害影响，试验用于模拟开放的由自然环境或人为扰动诱发的沙尘空气环境条件。可以替代试验 La 用于检测电子产品的防尘性能。标准中对尘浓度及试验时间做了规定。

在标准 GB 4208—2008《外壳防护等级（IP 代码）》中，对防止固体异物（包括灰尘）进入的等级进行分类，如表 3.4 所示。

表 3.4　第一位特征数字所表示的防止固体异物进入的防护等级

IP 代码	防 护 等 级	
	简 要 说 明	含　义
IP0×	无防护	—
IP1×	防止直径不小于 50mm 的固体异物	直径 50mm 球形物体试具不得完全进入壳内
IP2×	防止直径不小于 12.5mm 的固体异物	直径 12.5mm 球形物体试具不得完全进入壳内
IP3×	防止直径不小于 2.5mm 的固体异物	直径 2.5mm 球形物体试具不得完全进入壳内
IP4×	防止直径不小于 1.0mm 的固体异物	直径 1.0mm 球形物体试具不得完全进入壳内
IP5×	防尘	不能完全防止尘埃进入，但进入的灰尘量不得影响设备的正常运行，不得影响安全
IP6×	尘密	无灰尘进入

其中 5 和 6 为防尘试验，试验应在防尘箱中进行，滑石粉应用金属方孔筛中滤过，金属丝直径 50μm，筛孔尺寸 75μm，滑石粉用量为每立方试验箱 2kg。试验时间一般选取 8h。IP5×试验的接受条件为，观察滑石粉沉积量和沉积地点，不足以影响设备的正常操作或安全，认定为试验合格；IP6×试验的接受条件为，壳内无明显的灰尘沉积。

8. 盐雾测试

在标准 GB/T 2423.17—2008《电工电子产品环境试验 第 2 部分 试验方法 试验 Ka：盐雾》中规定，盐雾试验适用于比较具有相似结构的试样的抗盐雾腐蚀能力，适用于评定保护涂层的质量及均匀性，不适合作为通用的盐雾腐蚀试验，不适用于在含盐大气中使用的单个试样的评定。但是如果相关规范要求个别试验采用本试验方法时，试样应当作为整个组件或者设备的组

成部分连同实际的保护设备（箱体、盖子等）一起进行试验。

试验所用的盐应当是高品质的氯化钠，干燥时，碘化钠的含量不超过 0.1%，杂质的总量不超过 0.3%，盐溶液的浓度为（5±1）%，即将质量为（5±1）份的盐溶解在质量为 95 份的蒸馏水或者去离子水中。

试样放置在试验箱中，且试样之间不应有接触，安放好以消除部件之间的影响。试验箱的温度为（35±2）℃。

相关规范应规定试验周期：16h、24h、48h、96h、168h、336h、672h。

标准 GB/T 2423.18—2012《电工电子产品环境试验 第 2 部分 试验方法 试验 Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）》中提供了更符合实际情况的试验条件及单个试样的评定方法。标准中分为 6 个严酷等级，试验等级 1 和试验等级 2 适用于在海洋环境或在近海地区使用的产品，通常用做电子产品质量保证程序中的普通腐蚀试验；等级 3～6 适用于通常在含盐大气与干燥大气之间频繁交替使用的产品，如汽车及其零部件；严酷等级 3～6 与严酷等级 1 和 2 相比多了一个湿热储存阶段（温度：（40±2）℃，湿度：93^{-3}_{+2} %）。在喷雾期间绝不应给样品通电，在储存期间通常也不通电。

不同严酷等级时标示意图如图 3.4 所示。

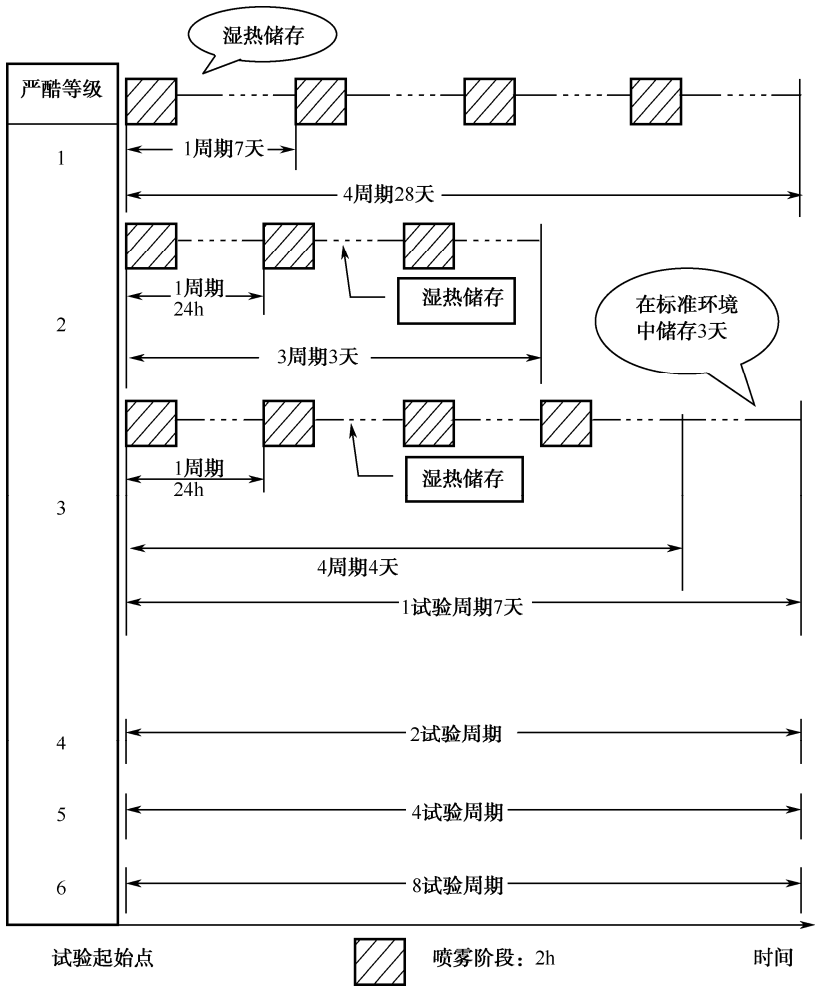


图 3.4　不同严酷等级时标示意图

3.2 环境测试技术

环境试验通过模拟真实的环境条件或再现某效应的方法，以一定的指标来证实产品在规定的环境条件下保持完好和正常工作。环境测试测试产品对储存、运输和使用环境的适应性，分析产品预期有效寿命，为设计或质量控制提供证据。

环境参数对产品的主要影响有腐蚀、开裂、脆化、潮气的吸附或吸收、氧化等，这些影响可导致材料的物理或化学性质的变化；环境的影响，可能使产品的绝缘发生损坏，产生机械或电气故障。

环境测试是电子产品系统的一项基本测试，测试产品在各种环境条件下，能否正常工作，是否出现了性能下降情况。环境测试结合实际情况，总结了多种测试方法，力求最真实的模拟实际情况，达到有效的测试效果。它与产品器件的选型、系统的结构设计、系统的安装方式和软件的设计等多方面有密切的关系，是产品系统综合能力的体现。

电子产品设备及系统的失效一般遵守“浴盆曲线”，如图 3.5 所示。

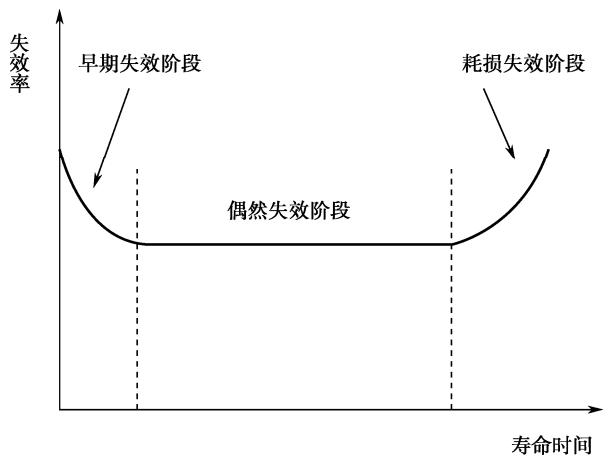


图 3.5　电子产品设备及系统寿命失效分布浴盆曲线

（1）早期失效阶段是发生在产品使用的初期，主要是由工艺缺陷和器件缺陷引起。器件选型老化不彻底是引起早期失效的主要原因，特别是在产品的试用阶段，出现的问题比较多，失效率会高一些。

（2）偶然失效阶段是在产品正常工作时偶然发生的，可能由于外部的原因，如产品的非正常使用造成的故障、跌落和遇水等。

（3）耗损失效阶段是由于电子产品经过长时间的稳定工作后，器件发生疲劳、老化和磨损，出现的失效率也是很高的。可以通过在出现异常时及时更换来改善耗损失效。

3.2.1 温湿度测试技术

温湿度测试包括低温测试、高温测试、恒定湿热测试和交变湿热测试四项测试。测试时一

定要按照标准要求的测试方法进行，可以根据实际情况留一些余量，考虑到测试设备差异和环境条件等原因，可以适当提高测试标准，因为标准中规定的一般是产品满足的最低要求，是产品必须满足的。

在进行产品设计需求分析阶段，就应该对环境的要求分析清楚，细化到每一项测试。影响环境测试的主要因素是器件选型，要想使产品系统满足一定温湿度要求，产品系统的器件就要求有比较宽的环境参数，以保证器件在系统中正常工作。

一般系统的输入电源要求有一个电压范围，在温湿度测试时也要综合考虑其对测试的影响，系统的输入电源要求作为测试的条件参与测试。

1. 低温测试

低温测试主要分为低温储存、低温启动和低温运行三种。电子产品系统一般选择综合测试，即先在试验箱中放置一段时间后（相当于低温储存），再进行低温通电启动，此时所通的输入电压为产品系统要求的下限值。观察系统能否正常启动，启动后系统是否工作正常，正常启动后，测试一段时间（相当于低温运行）。

低温测试主要测试电子产品在低温下能否正常启动、启动后能否正常工作，以及低温储存一段时间后，系统是否发生性能降低。主要有温度和持续时间两个参数，根据系统的工作场合选择。

一般情况低温启动后若正常工作，在低温运行阶段不会出现问题，因为器件的运行会提高器件周围的温度，但也不排除个别情况，有些系统在运行一段时间后就出现死机等情况。

在低温测试中，最容易出现问题的是电子产品及系统无法正常启动，器件在低温储存一段时间后，出现了问题，可能出现逻辑及参数上的错误，使系统无法启动，导致测试失败。

2. 高温测试

高温测试主要测试电子产品及系统在高温环境条件下能否正常工作，考察电子产品及系统在连续高温环境下的工作性能。

一方面，在测试中，系统工作时，随着时间的推移，器件的表面温度和内部温度会明显高于环境温度，一旦超过器件所要求的温度值，就会出现热失效，以至于系统故障，无法正常工作。这就要求器件的高温参数有足够的余量。在选择器件的时候选择低功耗器件，以降低设备在工作时产生的热量，达到提到系统稳定性的目的；另一方面，系统内部需要做好散热处理，或者是过热保护处理。在出现问题的时候提示维护人员进行处理。系统的散热设计是一项基本的设计，在设计时要考虑空气的流向、器件的布局和散热孔位置等，例如，在开关电源的设计中，对散热设计有明确的要求。系统外壳的材质也是影响系统散热的因素之一，材质的吸热和散热是互相矛盾的，系统的外壳一般采取增大外壳表面积来提高散热效果。

在一些产品的技术标准中，要求系统有过热保护，例如，要求 UPS 在一定温度时保护，系统转旁路输入。在测试时是需要将 UPS 内部的风扇断开的。

高温测试一般要求连接系统输入电源所要求的上限值进行测试，检查系统电源系统的工作性能。此时设备的电源系统可能在最大负载下工作，系统的温度可能达到最高。

高温测试出现的问题一般都是因为器件温度过高引起的故障，与测试时间有很大关系。电子产品系统老化试验一般都是选取高温条件下进行的。

3. 恒定湿热测试

恒定湿热测试主要是考察电子产品及系统在一定温湿度环境下长期存放后，系统的电气绝缘性能是否满足相关规范要求。恒定湿热测试一般是在不通电情况下进行的，主要考察的是系统结构方面的性能。如果系统结构密封的比较好，湿热测试是没有问题的，潮湿空气进入不了系统内部，只会影响到系统的外部结构。但是系统的密封与散热是互相矛盾的。密封太好，散热就会出现问题，散热一般是需要开孔的，散热好了，系统的密封性能就会下降。

当前有一种设计，就是利用电子设备的外壳进行散热，不再设置散热孔。在这里，采用低功耗器件显得更为重要，外壳散热是有限的，只有降低内部产生的热量，才能保证系统的正常稳定工作。有些产品的测试就是通过对出线孔、缝的密封处理来解决系统的湿热问题。

恒定湿热的测试时间一般为 12h、16h、24h、2d、4d 和 10d 等，相关产品规范中会明确采用的具体时间。

4. 交变湿热测试

交变湿热测试主要考察电子产品及系统在变化的湿热条件下，系统的电气及机械性能指标是否满足要求。交变湿热测试一般是在不通电的情况下进行测试的，更符合实际情况。

交变湿热测试对电子产品及系统外壳的材质和密封性能更为严格。在温度的变化中、外壳会出现扩张或收缩，可能对设备的密封性能产生影响。交变湿热测试，提高了潮湿空气侵入系统的可能性，对系统的防护性能要求更为严格，应综合考虑密封材料和外壳材料因素。

交变湿热测试一般进行两个周期的测试，即两个 12h+12h 循环，加上前期的稳定时间及后期的恢复时间，一般持续时间比较长。

交变湿热要求在测试前对设备的电气性能进行测试，恢复完成后，立即进行测试，记录测试值，检查是否符合标准要求。

3.2.2 振动冲击测试技术

振动冲击测试主要测试系统在振动、冲击条件下，系统的功能和电气性能是否满足要求，与电子产品的结构和安装方式密切相关。

1. 振动测试

标准要求，按照现场的实际安装方式安装固定被测设备，根据安装位置和设备类型选择振动方式。产品系统的每个垂直方向都需要进行测试。可以在不同的振动台上完成测试，一般振动系统为闭环控制，有实时数据采集。

一般振动过程中或振动测试后，不允许出现固定螺丝脱落或松动，不允许系统结构损坏，不允许出现任何部件的脱落。

在测试中可能会出现螺丝的脱落问题，这就需要在振动前做好紧固工作。一般都安装有平垫和弹垫，还可以使用防松螺母（适用于不经常拆卸的场合，拆卸可能使其防护性能降低）。处理螺钉松动的另一种方法就是在螺纹上加涂螺纹紧固剂，螺纹紧固剂会在一段时间后变成固态，防止螺母的松动或脱落。

在系统中卡接的设备要注意有一定的韧性和刚性，保证与设备的可靠连接。一般的端子是没有问题的，只用于连接线缆，而插接如浪涌保护器等大的质量较大的设备时，就需要考虑另外的加固方式。

如今设备上的保护器件为了易于维护、便于更换的目的，大都设计成为卡接方式，分为座和模块两部分，一旦模块出现问题，直接插拔更换。在振动测试中可能造成模块的松动或脱落，可以在测试前在模块与座接触的地方涂硅橡胶处理。

起固定作用的卡具一定要有足够的强度，如固定在其他设备上的设备，综合考虑受力的方向，进行适当的加固。卡具本身质量不要过大，质量过大会增加测试中的受力。起固定作用的螺杆螺母要有足够的直径，防止在测试中被折断。

测试中，应保证被测设备的均匀受力，设备的各部件安装紧固，防止出现彼此受力，加速固定结构的老化失效。

2. 冲击测试

冲击测试用来检查电子产品设备及系统的结构弱点、结构完好性，以及作为质量控制的依据。测试时，需要保证每个方向（共 6 个方向）都要经过测试。没有特别规定的情况下，一般进行连续三次冲击。

冲击测试主要有两个指标：峰值加速度和脉冲持续时间（即脉冲宽度）。产品的标准中会明确具体的测试指标及采用的冲击波形。

测试前需要保证被测设备可靠地固定在试验台上（或通过夹具），否则可能使产品的固定结构出现问题。

3.2.3　防水防尘测试技术

防水防尘测试是为了检查电子设备的密封性能，检验外壳的防护性能，检测水、尘侵入对设备的影响，以及对安全和灾害的影响。

防水防尘测试与系统的结构有着密切的关系。主要考察电子产品及系统外壳的防护能力，结合产品的标准选择合适的试验等级进行测试。

1. 防水测试

防水测试是测试电子产品对水的防护能力，根据产品的使用场合选取不同的试验等级，测试产品是否满足标准要求。

测试前，需要把设备的锁孔、门缝和出线孔检查加固，因为这些地方是最容易进水的位置，而且需要做特殊处理，这样才能顺利通过测试。

锁孔是最不容易处理的位置，因为锁孔是与内部连接的，其本身不具备防水能力。所以可以使锁芯伸出来一部分，然后在外面加一个保护盖，如图 3.6 所示。

为了便于设备的维护，一般设备都有一扇能打开的门，而门缝是防护比较弱的环节，若处理不好，很可能从这些位置进水。门的位置一般可以向外弯边，在其边缘与门的连接处安装橡胶垫（用性能好的，不易发生老化），如图 3.7 所示。



图 3.6　锁孔处理示意图



图 3.7　门缝隙的处理

对于防护设备要求高的设备，可以采用将沿一侧开启的门改为用螺栓固定的门，在每个面上安装橡胶垫，固定孔下面安装橡胶垫，螺栓易选用六角螺栓或十字形圆头螺栓（比内六棱螺栓接触面积大）来固定孔处的防水能力。

要求防水测试的设备一般属于室外设备。暴露在自然环境下，设备的引线一般都是采用地埋式的，电缆经过电缆沟进入设备，对引线孔的处理一般进行灌密封胶，防止潮湿水汽从引线孔进入设备，如图 3.8 和图 3.9 所示。



图 3.8　引线孔的处理 1



图 3.9　引线孔的处理 2

2. 防尘测试

防尘测试主要测试电子产品及系统对沙尘的防护能力，通过观察设备内部的进尘（滑石粉）情况，考察设备是否满足要求。

防尘测试不同于防水测试。防水测试是考察对液态水的防护能力，防尘测试是考察对细小固体物的防护能力，但是都可以通过对外壳进行密封设计，提高其防护能力。

测试前确保电子设备的外壳（如门、引线孔、锁和缝等）密封牢固，测试前首先对电子设备表面进行清扫，防止在外壳打开时落入设备内，影响测试结果的判定。

一般情况下，测试是在无包装不通电的情况下进行测试的，除非产品的相关规范中要求设备通电试验。在有些场合，可以使用双层柜来提高设备外壳的防护能力，双层柜可以对水和尘进行有效的防护。

3.2.4　盐雾测试技术

盐雾测试主要用于比较不同材质设备外壳的耐腐蚀能力，以及考察系统设备外壳的防护能力，主要适用于安装在户外、暴露在自然环境中的电子设备及系统。自然条件比较复杂，电子设备外壳会因各种因素老化，影响内部设备的正常工作。

盐雾测试与电子产品的材质有很大的关系，有的时候在产品的采购合同中会明确设备（或外壳）选用的材质，在产品抽验时会对材质进行检验。

由于盐雾测试是在一定温度下，进行工业盐溶液喷雾，对金属有一定的腐蚀性，因此试验箱采用塑料材质。

盐雾测试是一个比较花费时间的测试，一般持续的时间都比较长，因此在前期设备选型阶段一定要慎重，否则将大大延长设备的设计周期。

系统的防腐蚀测试主要进行三防处理，喷三防漆处理，选择耐腐蚀性能高的材料，在设备的外表面喷涂惰性材料，以提高系统的防腐蚀能力。

对于各方面因素的考虑，有些标准或规范中规定了设备的使用寿命。例如，铁路产品的寿命规定为 15 年，15 年以后，不管设备是否工作正常，必须更换新设备，个别设备规定的更短。

3.3　环境测试要点分析

环境类测试与电子产品设计有密切的关系，一旦设计完成，其环境性能基本确定下来，所谓后期的整改也就是更改设计，更换部件之类。

环境测试与电子元器件的选型、设备的布局、系统的热设计和系统的结构设计等多方面有关。它们主要影响系统的温湿度测试，系统的结构设计还影响振动冲击、防水防尘和盐雾测试。

在进行电子元器件选型时，一定要参考设备现场的温度范围，以及现场是否有散热措施等多方面进行选择，综合设备的发热和散热情况，选择温度范围宽和性能优良的芯片，长期工作且不断电的设备一定至少要选择工业级芯片，工业级芯片比商业级芯片的温度范围要求比较宽。

系统内部设备的布局直接影响整个系统的散热效果，避免系统内部设备过密，影响系统的散热。一般情况下，柜式结构的设备与设备之间要至少有 1U（44.45mm）的距离，发热较大的设备应放置在通风口，利于热量及时散出去，柜式结构的散热设计一般是在机柜的下方设置通风口（有除尘措施），在机柜的顶部安装风扇进行抽风。

系统的布线在一定程度上对系统的散热也有影响。布线一般要布置在线槽中，避免线缆的交叉，且布线不要影响散热通道。

系统的热设计是系统能否长期稳定可靠工作的保证，以下分别从热设计和结构设计方面说明设计方法及要点。

3.3.1　热设计

热设计已经逐步发展为一门系统的学科，被世人所关注。热设计的目的是控制产品内部所

有电子元器件的温度，利用热传递特性对电子设备的耗热元件及整机或系统采用合适的冷却技术和结构设计，从而对它们的温升进行控制，使其在正常工作时，不超过标准及规范所规定的最高温度，从而保证电子产品设计及系统稳定可靠工作。热设计的重点是通过设计一个冷却系统，在热源与热沉之间提供低热阻通道，保证电子设备内部热量顺利传递出去。

电子产品设备及系统在工作过程中产生热的原因有：内部功率元件耗散的热量；设备工作环境中的热量传递给电子设备；电子设备与大气摩擦引起的温升。热量通过传导、对流及辐射的方式影响电子产品的温升。

根据电子设备的可靠性指标及设备所处的环境条件确定热设计目标。热设计目标一般为设备内部元器件允许的最高温度，可根据元器件失效与工作温度之间的关系确定。一般可以采用元器件经降额设计后允许的最高温度值作为热设计目标。

热设计与电子产品设备及系统的结构、体积和重量有密切的关系。热设计主要包括冷却方法的选择、元器件的安装与布局、印制电路板散热结构的设计和机箱散热结构的设计。

1. 冷却方法的选择和设计要求

电子设备的冷却方法包括自然冷却、强迫空气冷却、强迫液体冷却、蒸发冷却、热管传热和其他冷却方法（如导热模块、冷板技术等）。其中自然冷却、强迫空气冷却和强迫液体冷却是常用的冷却方法。

1）自然冷却

自然冷却是比较经济的方法，但其冷却效果有一定的限制，只能满足热耗低的电子产品。影响自然对流冷却的因素有：印制板的间距、设备之间的间距、电子元器件耗散功率、设备外壳和环境空气之间的温差、设备表面积等。自然对流冷却设计要求如下。

（1）自然对流冷却设计时首先要注意最大限度的利用导热、自然对流和辐射散热，使内部产生的热量及时通过设备外壳导热和辐射出去，通过散热孔将热量散出去。

（2）缩短传热路径，增大换热或导热面积，使发热量大的设备放置在设备外壳散热孔附近，利于其及时散热，在允许的条件下，适当增大产品的体积，以达到散热的目的。

（3）减小安装时的接触热阻。实际情况下，接触面是有一定间隙的，最直接的就是在接触面上涂抹导热硅脂（胶）、导热黏合剂、导热灌封材料和导热片等，这些材料在电子产品中已经得到了广泛的使用，其效果非常明显。

（4）元器件的排列有利于流体的对流换热，采用散热印制电路板，热阻小的边缘导轨，元器件的布局避免过密，不同高度的器件需要合理布置，体积大、高的器件应该避开散热孔，保证自然散热通道畅通。

（5）印制板及设备之间的间距要满足要求，不要太近。有资料称印制板之间的间距应保证在 20mm 以上。

（6）增大机箱表面黑度，增强辐射换热。这也是通常采用的方法，有些设备的外壳内部是喷涂有一层深色的漆料的，这正是增强系统的辐射换热，提高内部散热能力。

2）强迫空气冷却

强迫空气冷却是利用风扇进行散热，对设备的总功耗进行估算，参考各内部器件的参数和发热系数进行估算，结合设备的体积估算整体的温升，根据内部器件的发热位置，确定风扇的类型及位置。强迫空气冷却设计要求如下。

（1）对部分发热器件进行附加的散热处理，如安装散热片。如 CPU、显示卡上面的风扇就是针对发热器件进行的散热设计。

（2）在进行热量估算时，可以借助测试设备进行测量。电子设备稳定工作一段时间后，可以利用红外测温仪、热像仪等进行温度的定量测试，留取足够的余量，得到有效的数据。

（3）保证电子元器件及设备的气流通路良好，否则影响强迫冷却的效果。

（4）电子元器件尽量靠近印制板上的大面积地层，可以借助地层做元器件的“散热片”利于产品的散热。

（5）适当的安放金属化过孔，依靠过孔将器件热量传导给其他层，帮助散热。但过孔太多影响信号的完整性传输，带来其他的问题。

（6）根据器件功耗、环境温度及允许最大结温来选择合适的散热器。

（7）元器件与散热器的接触面应保持平整光洁，中间使用导热材料如导热硅脂等，散热器的安装孔要去毛刺。

（8）型材散热器应使肋片沿其长度方向垂直安装，以便于自然对流。散热器应进行表面处理,以增强辐射换热。大多数的散热片都是黑色的。

3）强迫液体冷却

强迫液体冷却最常见的就是水冷压缩机利用水的流动进行强迫冷却，其应用比较广泛。利用水泵保证水的循环，循环过来的水（温度较高）通过扇叶自然冷却后循环利用。强迫液体冷却的冷却效果比较好，满足大功率冷却环境要求。

2. 元器件的安装与布局

元器件的安装与布局需要满足以下几点。

（1）元器件的安装位置应保证元器件工作在允许的工作温度范围内，应得到最佳的自然对流，使其在散热通道中，保证热量被及时传递出去。

（2）元器件应牢靠地安装在底座、底板上，以保证得到最佳的传导散热。元器件的安装板应垂直放置，利于散热。

（3）热源应接近设备外壳安装，与外壳之间有良好的热传导。发热元器件应主要依靠传导散热的方法将热量直接传导到外部。对高温元器件可安装金属屏蔽层，其内部应为高吸收率的表面（或涂黑），外部应为低辐射率的表面，使热量直接传导到外部散热片，以减少对邻近元器件的热影响。

（4）元器件、部件的引线引脚的横截面应足够大，长度应尽量短，利于散热。

（5）无源元器件、温度敏感元件应放置在低温处。若邻近有发热量大的元器件，则需对无源元件、温度敏感元件进行热防护，可在发热元件与温度敏感元件之间放置较为光泽的金属片来实现，使热量反射，通过其他方式及时散走。

3. 印制电路板 PCB 的热设计

印制电路板热设计的目的是实现印制电路板良好的散热，以保证印制电路板上元器件和功能电路正常工作，从而保证系统的可靠性。系统散热问题是系统的一个顽疾，许多产品都是因为过热引起的故障。例如，笔记本电脑由于内部的散热问题使自检无法通过，系统无法启动，判断为硬件故障，对使用者造成很大的不便。

目前采用的环氧玻璃板，导热性能差，为了提高其导热能力，通常在其上敷设导热系数大的金属（铜、铝）条或（铜、铝）板，从而成为散热印制电路板。

导轨选用金属导轨，与印制板紧密接触，使印制板边缘的热量及时传导至导轨散走。

4. 机箱的热设计

机箱的热设计是在保证设备承受外界各种环境和机械应力的条件下，采用各种必要的散热手段，最大限度地把设备产生的热量散发出去。常用机箱的形式主要有密封机箱、通风机箱和强迫风冷机箱，强迫风冷机箱又可分为箱内强迫通风和冷板式强迫风冷两种。

（1）密封机箱利用机箱表面和机箱的热传导进行散热。散热能力较差，主要应用于系统功耗小，对散热要求不高的电子产品中。

（2）通风机箱是通过机箱表面散热和自然通风散热。散热能力较好，适用于系统功耗较小，通过通风孔的散热就可以满足温度要求的系统。

（3）箱内强迫通风机箱是利用机箱表面和强迫通风散热。散热性能好，适用于功耗较大的系统；冷板式强迫风冷机箱是利用机箱表面、冷板散热和强迫风冷散热，散热性能好，广泛应用在电子设备的热设计中。

有的电子设备是机柜结构，机柜的散热方式可根据具体使用条件来定。当机柜内设备散热量不大时，可采取自然通风的散热方式。在底座上开一个进风口，后门上部开一个百叶窗，这样在机柜内就形成一个自然的风道。

为了避免异物进入机柜，在进风口处和百叶窗处增设过滤网，当机柜内设备散热量较大时，可在机柜顶部加风机，通过风机来加大机柜内部空气流动，强迫风冷的目的。

试验出现问题时，要根据设备的表象，判断出现的问题。低温启动测试考察电子产品及系统的低温性能，考察产品能否在低温下正常启动，以及启动后是否工作正常。高温测试对电子产品设备及系统的散热有很大的考验，随着时间的继续，系统散发出来的热量会越来越多，可能使控制芯片异常，功能失效。

湿热测试后的绝缘性能测试主要与系统的接地设计与结构有关，参照系统的结构设计，如喷三防漆处理等，以达到提高系统绝缘性能的能力。系统的信号地可以采用浮地方式，与系统的设备地不接，防止干扰的引入。

3.3.2 结构设计

系统结构不仅仅影响系统内部设备的散热，影响温湿度测试，而且直接影响系统的抗振动冲击性能、系统的外壳防护能力及系统的盐雾测试。

（1）振动冲击测试主要考察系统抗振动冲击性能，与系统的结构有直接的关系。结构设计是否牢固，螺钉是否容易出现松动，结构部件间是否受力均匀等，都直接影响系统的振动冲击性能。

（2）外壳防护是从外壳密封方面考察系统的性能。对在户外自然条件下的电子系统设备一般要具备较高的外壳防护等级，以防止水、尘对系统的运行造成影响。水、尘可能引起系统绝缘下降，影响操作人员的安全，还可能引起设备功能失效。

（3）盐雾测试主要考察电子产品系统外壳的耐腐蚀能力。设备一般放置在室外，环境比较

恶劣，外壳的腐蚀老化可能引起设备功能异常或故障。

电子产品设备及系统在使用和运输过程中，不可避免地要经受机械的影响，如振动、冲击和离心力的作用，可能会对设备造成故障，主要表现为：结构件机械性的损坏、破裂、变形、疲劳损伤，元器件脱落、损坏、引线引脚断裂、焊点脱焊、紧固件松动、失效等。

有一测试设备，在其工作时利用气源进行正负极性的切换，同时负责放电，在放电时，其会产生设备外壳的振动，运行一段时间后出现“极性切换中”的故障，咨询厂家，厂家说是气源的问题，多手动切换几次，就能解决，刚开始比较凑效，后来已经没有什么用了，后来检查，就是内部的一个螺丝出现松动最终脱落造成的。一个小螺钉影响了设备的正常使用，出现问题时是怎么都不会想到的，结构的设计显得很重要了，如果厂家在设计时考虑外壳在振动时可能出现的螺钉松动，这样就会减少后期的维护成本。

振动冲击最有效的防护设计是加强设备的强度和刚度，把设备做成足以能够抗振动和冲击。电子元器件的主要减震措施如下。

（1）对于体积和质量大的模块、晶振、电感线圈可以用硅橡胶加固。

（2）避免大块印制板，尽量采用小型化多层印制板，以增加其强度。

（3）较重的部件应安装在设备底层，且所有零部件必须有可靠的锁紧装置，避免振动或冲击时脱落。

（4）导线穿过金属孔或靠近金属零件时需要用绝缘套管进行防护，以免磨损。

（5）在装配中使用不锈钢错齿弹垫、防松螺母等进行紧固。

电子设备如果长期工作在恶劣的环境下，受到潮湿、盐雾、霉菌等不利环境的综合影响，如果防护设计不好，就会大大降低产品的性能和可靠性。因此，对一些内部的 PCB 喷三防漆保护，以提高系统的可靠性；避免不同金属的相互接触，以防腐蚀。

电子设备的外壳防护能力主要与系统结构的密封性能有关。发热量较小的设备可以采用全密封设计，通过壳体的散热就可以将内部的热量散发出去；发热量大的设备需要借助其他散热方式进行散热。

在室外安装的设备，其线缆一般是需要进行灌胶处理的。一方面防止受潮，另一方面提高线缆的强度，防止破损。线缆灌胶可以防止潮气从缆槽内进入设备内部。

室外的设备一般有上开门和侧开门结构。上开门的结构一般采用四周有橡胶垫密封，门与箱体接触面的内部凸起一部分，来防止水汽的进入。其锁结构与接触面没有直接的关系，是独立的结构，采用螺柱压紧，其上面有防水盖，防止生锈。侧开门结构的设备一般在门处设置卷边导水槽，使进入到门缝处的水顺利导走，以防积聚进入设备内部。

提高系统的耐腐蚀性能主要是喷三防漆处理、喷涂惰性材料、结构设计避免水的积聚、采用耐腐蚀性能好的材料、根据结构在设备的作用和选择适当的材料。例如，起固定作用的结构就要采用强度高的材料。

为了提高电子产品设备及系统的可靠性，可以从软件上、维护性方面进行设置，实时监测设备的运行状态，发现异常及时更换，这就要求设计便于拆装，便于查看，便于监测，软件要实现智能，避免一个模块的故障引起系统的瘫痪。

设备的正常操作也是保证系统稳定可靠运行的一个方面，避免设备的非正常关机，如工控机非正常关机，可能导致文件错误，在系统再次启动时，就有可能出现无法启动的现象。系统的开机自检可以检查系统的错误，对错误的块进行隔离，防止以后文件的再次写入，从而避免

一部分问题的出现。但如果是系统用到的文件正好在错误的磁盘分区内，问题就无法避免了。

3.4 小结

电子产品设备及系统的环境设计是一个综合的设计，设计时需要考虑多方面的因素，有些因素是互相制约的，需要权衡。整体上分为热设计和结构设计两个方面。

环境测试主要考察电子产品设备及系统在各种环境下，能否正常启动、工作，其性能指标是否出现下降，是产品的基本要求。

环境测试涉及的方面比较多，与元器件选型、系统的热设计、结构设计和电磁兼容设计等都有着密切的联系。元器件的性能直接关系到环境测试中温湿度测试的性能，一定要选择正规渠道的工业级芯片，实际产品中因器件的差异引起的设备故障举不胜数。

系统的热设计是设计系统的散热系统，保证系统在一个稳定的可靠环境下工作。热失效已经成为设备故障的主要原因，是制约产品升级发展的主要因素。散热受到系统结构的影响，如今的电子产品趋向于微型化，使得散热设计更为重要，也是最不容易处理的方面，甚至一些产品无法解决，造成很大的负面影响。

系统的结构设计关系到系统的整体性能，与系统的环境测试和电磁兼容测试有直接的关系。在考虑外壳防护时，要考虑系统的接地及散热。设置畅通的自然通风通道，对系统的功耗散热进行评估计算和检测，选择适当的冷却散热方式。

环境测试中的每一种测试方法都是在考察系统一个方面的性能，在测试中一定要按照正确的方法进行，不允许偷工减料，否则可能使测试结果无效，没有针对性。同一项测试中给出了不同的测试方法，针对不同的情况、不同的产品选择适合的测试方法。

测试标准的选取可以根据要求进行适当的余量，以防止产品的个体差异，从而来提高整批产品的可靠性能。避免随意的提高，否则可能产生隐性的、不可预期的错误，带来不必要的损失。一般情况下，产品的标准是产品应满足的最低要求。

电子产品设备及系统的测试依赖于其设计，设计需要整合测试的各方面经验进行改良，在多次的反复中使产品的性能得到提高。

电子产品设备及系统在设计时，需要结合成熟产品的设计经验，进行改造，使其适合新产品的需要。新产品在设计时，存在的不确定因素更多，因此在设计中出现的风险更大，需要加强风险管理及各阶段的评审，降低产品的风险。

第 4 章

绝缘测试

本章主要介绍绝缘测试的基础、绝缘测试技术及绝缘测试的分类，介绍绝缘测试的标准及测试方法。

绝缘测试可以说是电子产品及系统硬件测试的基本测试，也是电子产品及系统测试首先考虑的项目，是电子产品系统最基本的要求。

绝缘测试是考虑操作人员人身安全而进行的测试。系统绝缘不好将直接影响操作人员的人身安全，且系统的绝缘测试性能直接影响系统的其他测试结果。

绝缘测试分为绝缘电阻和绝缘耐压两部分。绝缘电阻是以电阻为衡量标准的；绝缘耐压是以承受一定电压值时的漏电流为衡量标准的。

本章节将重点介绍绝缘测试的方法与标准，以及常见的处理措施。

4.1 概述

4.1.1 绝缘测试基础

随着电子技术的发展，电子设备不断升级，不时地出现新产品，诸多的生活电器也渐渐走进了人们的家庭，人们一刻也离不开电。用电过程中存在着用电安全问题，在电子电器设备中，如电机、电缆、家用电器等，正常工作时需要人进行操作，正常时，系统的绝缘性能良好，对操作人员是安全的，一旦由于受热和受潮等原因造成绝缘材料老化，绝缘性能降低，就会造成电子电器漏电，发生人员触电事故。为了避免事故发生，就要求经常测量各种电子电器设备的绝缘性能。

首先了解一下绝缘的概念，所谓绝缘就是使用不导电的物质将带电体隔离或包裹起来，以防止触电的危险。良好的绝缘对于保证电气设备与线路的安全运行，以及防止人身触电事故的发生是最基本和最可靠的手段，是一种有效的安全措施。绝缘通常可分为气体绝缘、液体绝缘和固体绝缘三类。在实际应用中，固体绝缘仍是最为广泛使用的，且最为可靠的一种绝缘物质，本书中介绍的属于固体绝缘。

绝缘根据用途还可以分为基本绝缘、附加绝缘、双重绝缘和加强绝缘，如图 4.1 所示。基本绝缘是其失效后会引起电击危险的绝缘，可用于功能绝缘的目的；附加绝缘是除基本绝缘外

施加的独立绝缘，用以保证在基本绝缘一旦失效时仍能防止电击；双重绝缘是由基本绝缘和附加绝缘构成的绝缘；加强绝缘是提供防电击能力不低于双重绝缘的绝缘，它可以由几层不能像附加绝缘或基本绝缘那样单独进行试验的绝缘构成。

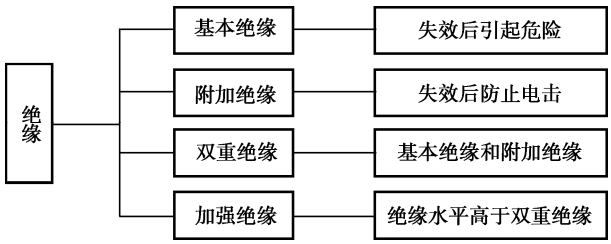


图 4.1　绝缘的分类

绝缘测试包括绝缘电阻和绝缘耐压两部分测试。

绝缘电阻是指电子产品设备的输入、输出端子与设备外壳之间施加规定直流电压时所测到的电阻。在多个标准中的定义为：与试样接触或嵌入试样的两个电极之间的绝缘电阻，是加在电极上的直流电压与施加电压一定时间后电极间总电流之比，它取决于试验的体积电阻和表面电阻。

绝缘电阻测试是为了了解和评估电子电气设备的绝缘性能而经常使用的一种比较常规的试验类型。通过对绝缘电阻的测试，可以验证电子设备的质量，确保电子设备满足标准，确定电子设备性能随时间的变化，排查故障原因。

绝缘耐压测试是检查产品绝缘结构是否能承受内部过电压或外部过电压。内部过电压主要是指系统内部能量转换或参数变化引起的，如感性负载的切换；其外部过电压主要指由于直接雷击或雷电感应而引起的过电压，雷电冲击电流和冲击电压的幅度都很大，而且持续时间很短，破坏性极大。

绝缘测试体现了系统阻止电流流过的有效性，体现了系统的绝缘性能。每一种产品的设计必须尽可能不让使用者有触电的机会，纵然是错误使用也不会触电，因而就必须对其进行绝缘测试，以达到安全要求。

绝缘电阻值越高表示产品的绝缘越好。绝缘电阻测试测量到的绝缘电阻值为两个测试点之间及其周边连接在一起的各项关联网络所形成的等效电阻值。但是，绝缘电阻测试无法检测出下列状况：绝缘材料的绝缘强度太弱；绝缘体上有针孔；零部件之间的距离不够；绝缘体被挤压而破裂。上述各种情况只能通过绝缘耐压测试检测出。

绝缘耐压测试用于确定出现瞬时高压时的电气绝缘强度，它属于非破坏性测试。耐压测试的目的有两个，一是确保足够的电气绝缘强度，二是测试可能存在的缺陷，如不充分的爬电距离和净空距离。除正常情况外，耐压测试还应考虑故障情况、湿度、振动等对电气绝缘强度的影响。

绝缘耐压测试时是将一个高于正常工作的电压加在产品上测试，且这个电压必须持续一段时间。如果一个零部件在规定时间内，其漏电流亦保持在规定的范围内就可以确定这个零部件在正常的条件下工作，应该是非常安全的。

绝缘耐压测试用闪络和击穿来进行判断。闪络是沿绝缘介质表面发生的破坏性放电；击穿是在固体介质中发生的破坏性放电。



4.1.2　绝缘测试标准

绝缘测试的标准大都是行业内部提出的，都是针对各行业的，标准等同于国际标准。

标准中规定的测试方法大同小异，如在测试前都要断开输入电源和保护电路，测试后对功能进行测试，以判断测试结果，这些都是相同的。在绝缘耐压测试时，都要求电压从一个较小的值上升，有些标准中规定是试验电压的 40%，有的标准中规定是试验电压的 50%，思想是一致的，都是为了避免电压升高过快对设备造成的损坏。

标准中细化了测试电压，有些标准中对不同电压的信号采取不同的试验电压，有些标准是简单地将端口分为两类，测试时需要依据相关的测试标准。如下罗列了一些常见的绝缘测试标准。

（1）TB/T 2227—1996　铁道客车车电配线耐压试验方法。

（2）TB/T 2249—1996　铁道客车车电配线绝缘电阻试验方法。

（3）TB 1447—1982 信号产品的绝缘电阻。

（4）TB/T 1448—1982 通信信号产品的绝缘耐压。

（5）GB/T 3048.5—2007 电线电缆电性能试验方法　第 5 部分：绝缘电阻试验。

标准中规定了两大类电缆的试验程序。



1. 有金属护套、屏蔽层或铠装的电缆

单芯电缆应测量导体对金属套或屏蔽层或铠装层之间的绝缘电阻；多芯电缆应分别测量每一根芯线对其余芯线或金属套或屏蔽层或铠装层之间的绝缘电阻；若要求测量多芯电缆芯线与屏蔽间的绝缘电阻，则需要将所有芯线并联后对屏蔽进行测量。



2. 非金属护套、非屏蔽或无铠装的电缆

单芯电缆应浸入水中，测量导体对水之间的绝缘电阻；多芯电缆应分别就每一根线芯对其余线芯进行测量。也可以将试样紧密地绕在金属试棒上，单芯电缆测量导体对试棒之间的绝缘电阻；多芯线缆分别就每一根线芯对其余线芯与试棒连接进行测量。

GB/T 3048.8—2007 电线电缆电性能试验方法　第 8 部分：交流电压试验。

GB/T 3048.14—2007 电线电缆电性能试验方法　第 14 部分：直流电压试验。

GB/T 10064—2006 测试固体绝缘材料绝缘电阻的试验方法。

GB/T 15479—1995 工业自动化仪表绝缘电阻、绝缘强度技术要求和试验方法。

GB 4793.1—2007 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求　第 1 部分：通用要求。

GB/T 24343—2009 工业机械电气设备绝缘电阻试验规范。

GB/T 24344—2009 工业机械电气设备耐压试验规范。

GB/T 26675—2011 机床电气、电子和可编程电子控制系统绝缘电阻试验规范。

GB/T 26676—2011 机床电气、电子和可编程电子控制系统耐压试验规范。

GB 17627.1—1998　低压电气设备的高电压试验技术　第 1 部分：定义和试验要求。

……

以铁路产品为例，铁路通信信号设备的绝缘电阻测试采用的试验电压为直流 500V，所测

得的绝缘电阻要求不小于 25MΩ，有个别系统要求不小于 100MΩ，信号变压器的绝缘电阻要求不小于 1000MΩ，绝缘耐压测试试验电压要求如表 4.1 所示。

表 4.1　通信及信号产品耐压测试要求

产品额定电压 U（V）	海拔高度（m）（kPa）①	试验电压（V）	
		通 信 产 品	信 号 产 品
U≤24	≤1000 （84）	250	1000
24<U≤60		500	
60<U≤220		1000	2000
220<U≤380	0～500 （88）	1200	2400
小接点间隙②		24<U≤220 500	U≤220 750

注：① kPa（千帕斯卡）为以压力表示海拔高度的压力单位。

② 小接点间隙指间隙小于 1mm。

4.1.3　绝缘测试方法

电子产品及系统在进行绝缘测试时，需要依据其绝缘测试标准进行。标准中明确了试验电压及测试方法，这里以铁路产品为例介绍其测试方法。

1. 绝缘电阻

绝缘电阻测试主要测量组件中的载流部分与组件边框或外部之间的绝缘是否良好，通常是施加一个较大的恒定电压（直流 500V 或 1000V），并维持一段规定的时间，作为测试的标准。假如在规定的时间内，电阻保持在规定的范围内，就可以确定在正常条件的状态下运转，产品应该较为安全。

一般用绝缘电阻测试仪、兆欧表或者摇表进行测量。当工作电压不大于 36V 时，施加直流电压 100V；当工作电压大于 36V 时，施加直流 500V 进行测量。若设备无法接线，又无外壳可连，则按实际情况安装在“机箱”中，以此机箱体作为外壳进行试验。在进行绝缘电阻测试时，一般是将测试仪的输出地接至被测设备的外壳地上，测试仪的高压输出端接至被测端子上。

施加电压的典型过程为：电压从零开始上升至最大的时间不超过 5s，并且维持最大值 5s，绝缘电阻等于施加的电压与线路产生的泄漏电流之商，通常为 MΩ级电阻，该值应符合规定限值。测试设备连接示意图如图 4.2 所示。

在试验时，应读到稳定的读数为止，若不能获得稳定的读数，则施加试验电压时间为（60±5）s。测试时，应戴绝缘手套。测试前，应对测试设备进行校验，开路为无穷大，短路为零。被测设备的防雷元件需要拔掉，否则可能影响测试结果或损坏防雷器件。测试后，应进行放电，将输出与地线短接，地线与被测设备短接。

绝缘电阻只能在设备不带电的情况下进行测量。测试过程中，严禁用手触及被测设备，拆线时，也不要触及引线的金属部分。

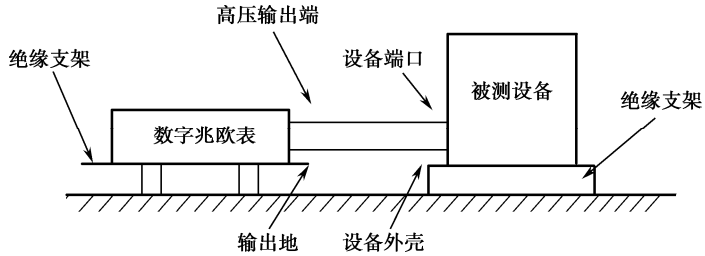


图 4.2　绝缘电阻测试设备连接示意图

利用数字兆欧表测试绝缘电阻的步骤如下。

（1）仪器使用人员应戴绝缘手套。

（2）检查测试设备是否工作正常，上电。

（3）进行校准，输出开路应该为兆欧表的最大量程，短接应该为零。

（4）拔掉被测设备的防雷元件，内部无法去掉的端口可以不进行测试。

（5）将测试仪器的输出地接至被测设备的机壳地上。

（6）将测试仪器的输出高压端接至被测端口上。

（7）测试值稳定后，记录测试值。

（8）停止测试仪器输出。

（9）更换其他端口进行测试。

（10）测试完成后，对被测设备及测试仪器进行放电。

2. 绝缘耐压

绝缘耐压的连线与绝缘电阻测试相同，将测试仪的输出地接至被测设备的外壳地上，测试仪的高压输出端接至被测端子上。在大约一分钟内使用单一的电压进行测试，通常为 1000V 和 2000V，也可以对绝缘材料施加高于正常工作电压的电压，来检测绝缘材料中细小的缺陷。对于新的设备，测试电压应该大约为制造商的工厂测试电压（高于额定电压，可以从电缆制造商处获得该数据）的 60%～80%。如果不知道工厂测试电压，则测试电压选用两倍的电缆额定电压再加 1000V。额定电压是导线长时间工作电压的有效值，通常被印刷在电缆上。对于单相、两相或三相系统来说，电缆的额定电压是指相—相额定电压。

电压施加的时间对不同的产品有不同的规定，其中《IEC61010-1—2010 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第 1 部分：通用要求》中规定电压从零开始上升至最大的时间不超过 5s，并且维持最大值 5s。《TB/T 1448—1982 通信信号产品的绝缘耐压》中规定施加电压应从试验电压值一半升至规定值，并在规定的试验时间内保持电压，然后递减至零。施加电压后，被测端口与设备地之间会产生泄漏电流，该电流为高压泄漏电流，该值不应超过规定的泄漏电流限值。

典型的耐压测试方法如下（电源端子耐压试验为例）。

（1）检查确认耐压测试仪的主电源开关是处于“关”的位置。

（2）除非仪器的特殊设计以外，所有的不带电金属部分必须可靠接地。

（3）把受测设备的所有电源输入端的电线或端子连接起来。

（4）合上受测设备的所有电源开关，保持正常工作时的状态。

（5）把耐压测试仪的测试电压调为零。

（6）把耐压测试仪的高电压输出线（通常为红色）连接到受测设备的电源输入端。

（7）把耐压测试仪的回路接地线（通常为黑色）连接到受测设备的可触及不带电金属部分。

（8）把耐压测试仪的主电源开关闭合，缓慢升高仪器的次级电压到要求值。一般升压速度不超过 500V/s 的速度。

（9）在指定的时间内维持这个测试电压。

（10）把测试电压缓慢降下来。

（11）把耐压测试仪的主电源开关断开。先断开耐压测试仪的高电压输出线，再断开耐压测试仪的回路接地线。

4.2 绝缘测试技术

绝缘测试是电子设备最基本的要求。设备在正常工作中，如果绝缘性能不满足要求，就有可能发生触电事故。事实表明，电子设备的绝缘性能影响其他方面的型式试验，会产生一系列的测试问题。

系统绝缘就是通过增大之间的距离、改变之间的介质等措施来提高系统的绝缘性能，提高电子产品系统的稳定可靠性，保证人身安全。在有些系统设计时，采用浮地的方式提高系统的绝缘，内部电路与外壳保持足够的距离，以防止电压击穿。

系统的绝缘电阻测试被测端子间等效的电阻值，绝缘耐压测试用来检测器件之间的间距太小、绝缘发生破裂等问题，及时发现缺陷，防患于未然。

在印制板上通过喷三防漆来提高系统的绝缘性能，以防止引脚间击穿放电。

绝缘测试有多种形式在产品设计的不同阶段进行试验，用以发现产品设计缺陷及故障的排查。绝缘耐压测试是对设备有一定损伤的，不建议重复进行测试。一般要求，再次进行测试时，试验电压要降至标准试验电压的 75%进行试验。

4.2.1 绝缘电阻测试

理想的绝缘体是不导电的，即电阻为无穷大，但实际上绝缘体总是有一定的、很弱的导电能力。绝缘体有阻止电流通过的特性，但若加上高电压时，会有少许的漏电流流过绝缘体的内部或表面。绝缘电阻是阻止漏电流通过的能力，阻值越大越好，通常以百万欧（MΩ）计。绝缘电阻会因材质劣化、表面附着有机物、尘埃及水滴等而减小。

影响绝缘电阻的因素有：设备表面的杂质（灰尘、绝缘层老化等）、温度、湿度、印制板布线与机壳之间的距离、试验电压等。

绝缘电阻测试有以下几种类型：设计测试、生产测试、交接验收测试、维护测试及故障定位测试，如图 4.3 所示。不同的测试类型取决于不同的测试目的和应用领域，并且不同绝缘的测试过程也具有不同的特点。

（1）设计测试。设计测试一般用于在实验室中确定电气器件的性能。通常是由制造商对新设计的器件或是从其他公司外购的、用于产品设计之中的器件进行测试。检查的是器件是否有

故障。在制造任何产品之前都要进行绝缘电阻测试。在测试绝缘时，对每一器件施加高压，测得的绝缘电阻满足标准要求。不仅在第一次设计产品时需要进行设计测试，而且只要对产品进行修改，就要进行测试。对于不同的器件，根据其不同的工作电压、工作状况及性能要求，需要对其采用不同电压进行测试。

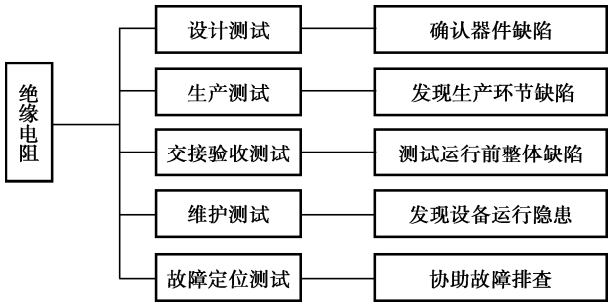


图 4.3　绝缘电阻的分类

（2）生产测试。为了确保在实验室工作正常的产品在生产之后仍然工作正常，就必须对每个产品进行生产测试。生产测试由制造商进行，测试产品是否满足规范和标准的要求。在新产品和设备投入使用之前，需对其进行绝缘电阻测试。生产测试通常是非破坏性的。由于必须对生产线上准备安装的元器件的性能进行是否满足绝缘要求的试验。且由于这种测试的目的只是验证元器件是否有足够的绝缘强度，而不是整体设备的出厂验收试验，因此测试电压参照产品要求。

（3）交接验收测试。验收测试由安装者在完成安装之后，在系统投入使用之前进行。验收测试包括绝缘电阻测试和绝缘耐压测试，以检查是否有设备损坏、电缆损伤，电子电气器件之间的间距是否合适，是否满足绝缘要求，以及在储存、运输和安装过程中是否导致产品损坏。

（4）维护测试。许多企业都把对设备进行绝缘电阻测试作为其整体维护的一部分。导线绝缘层的状况是设备和电子系统总体状况的一个很好的指示。系统的绝缘测试可以在故障造成之前检测到并消除故障，出现绝缘下降的状况，就需要对其进行检查，防止其进一步恶化。通过定期的绝缘电阻测试，可以提高系统的可使用性，防患于未然。

（5）故障定位测试。电子设备在运行过程中会发生故障，故障通常是由某个故障电路中脆弱或损坏的电子元件引起的，故障的表现主要体现在绝缘下降、短路或击穿。通过绝缘电阻的测试，可以帮助排查故障、解决问题。

重复试验时，在加电压之前应使试样短路放电，放电时间应不少于试验充电时间的 4 倍，如因试样有剩余电荷而造成测量结果有明显差别时，必须先进行充分放电，对于此类试样，无论是第一次还是重复测试，均需要充分放电。

绝缘电阻的检测范围包括电子产品设备及系统的所有输入输出端子，一般分为两类，一类是电源端口，一类是通信信号端口，这两类的测试标准是不一样的。

4.2.2　绝缘耐压测试

绝缘耐压测试是指对各种电子装置、绝缘材料和绝缘结构的耐受电压能力进行的测试。在不破坏绝缘材料性能的情况下，对绝缘材料或绝缘结构施加高电压的过程称为耐压试验。一般

来讲，耐压测试的主要目的是检查绝缘耐受工作电压或过电压的能力，进而检验产品设备的绝缘性能是否符合安全标准。

耐压测试的基本原理是：把一个高于正常工作的电压加在被测设备的绝缘体上，并持续一段规定的时间。如果其间的绝缘性足够好，加在上面的电压就只会产生很小的漏电流。如果一个被测设备绝缘体在规定的时间内，其漏电电流保持在规定的范围内，就可以确定这个被测设备可以在正常的运行条件下安全运行。

进行耐压测试时，由于被测产品不同，测试标准有所不同。一般情况下，对于交流电源端口（交流 220V）进行的绝缘耐压测试是交流 2000V，对信号端口和通信端口进行的绝缘耐压测试是交流 1000V。根据测试的漏电流就可以判断被测产品的绝缘耐压性能是否符合标准。

为了减少其他因素对被测设备的影响，被测设备应该放置在绝缘板上进行测试，包括测试设备及连线都应该放置在绝缘板上，以防发生危险。

绝缘耐压测试分为交流耐压试验和直流耐压试验。交流耐压试验施加交流工频电压，直流耐压试验施加直流电压，如图 4.4 所示。

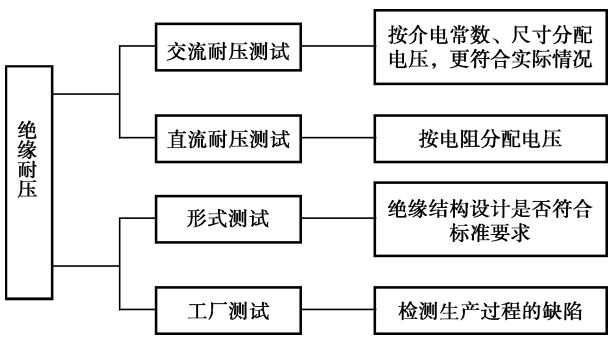


图 4.4　绝缘耐压的分类

由于绝缘材料的特性决定了交流和直流电压的击穿机理不同，大多数绝缘材料和系统都包含了一系列不同的介质。当对之施加交流试验电压时，电压将按材料的介电常数和尺寸等参数的比例来分配电压。而直流电压只按材料的电阻比例分配电压。实际上，绝缘结构发生击穿时，往往是电击穿、热击穿、放电等多种形式同时存在，很难截然分开。

交流电压比直流电压增加了热击穿的可能性。所以，交流耐压测试比直流耐压测试更加严格。实际操作中，在进行耐压测试时，如果要使用直流做耐压测试时，试验电压要求比交流工频的试验电压高，一般直流耐压测试的试验电压是通过把交流试验电压的有效值乘以一个常数而得到的。

根据产品设计的阶段又可以分为形式测试和工厂测试。形式测试是用来判断产品的绝缘结构设计是否符合标准要求。通常是在温升测试、湿热测试、异常测试和其他的一些测试后立即进行的。一般对产品施加试验电压为一分钟。

工厂测试是检测生产过程的生产缺陷，不是检测绝缘结构的设计是否合理。通常是产品完成后准备包装前进行的。产品绝缘结构的缺陷通常会有如下的情况：锋利的部件损伤了电线绝缘层，连接线－低级或初级－次级间的电子元器件给短路了，电线的焊接点焊的不好或脱落了，爬电距离减少了，变压器内的绝缘损坏了等。为了适应大批量生产，工厂测试还可以将试验电压值提高 20％或 25％，试验时间由 1min 缩短至 1s。



标准中会规定测试时的具体电压数值。经过耐压测试只能说明产品的绝缘结构能承受该试验电压，而不能说明产品的绝缘结构究竟能承受多高的电压。如果在进行绝缘材料的应用研究和电子设备的设计，需要测定绝缘强度时，就需要进行击穿测试。击穿测试就是测试电介质被击穿时的电压。当电场强度超过某一极限时，通过介质的电流与施加于介质的电压关系就不符合欧姆定律，而是突然增加。

对于一台电子电气产品，如果其绝缘发生了击穿，那么它就失去了运行使用功能。与耐压测试完全不同，耐压测试是要通过测试来保证产品没有缺陷，能安全正常的工作。所以，耐压测试的测试电压是经过实践证明是安全、可靠、有效的，应该严格按其执行。

绝缘耐压试验对绝缘材质有一定的损伤，应避免重复进行，也不应随意提高测试电压。为了显示其产品的质量好而把耐压测试的电压特别提高，有的甚至提高到所要求的两倍，这样做是有百害无一益的。因为，第一，这样做有可能降低了产品的合格率。第二，虽然通过了测试，有可能损害了内部的绝缘结构，使产品的安全性降低。第三，有可能损坏一些元器件，使产品的质量降低，寿命缩短。

进行耐压试验前，应断开电子设备的外部供电电源、断开被测设备的保护电路，以及辅助模拟测试设备。

下列情况表示被测设备通不过测试。

（1）当出现测试电压不能升到指定电压值或者电压反而下降时。

（2）耐压测试仪出现警告信号时。

（3）泄漏电流超过所要求的限值时。

（4）发生闪络或击穿现象时。

需要注意的是，由于耐压测试中存在对人身产生危险的高电压，进行测试时必须特别小心，做好防护措施。

4.2.3　绝缘测试要点

绝缘测试是进行产品型式试验时首先需要进行的测试，是产品最基本的要求。只有满足了相关标准的要求后，才能进行其他方面的测试。

绝缘测试前，需要断开与被测设备相连的辅助测试设备，断开系统输入电源，拔掉保护器件，确认完毕后，开始测试；绝缘测试时，首先进行绝缘电阻测试，只有通过了绝缘电阻的测试后，才允许进行绝缘耐压测试，否则可能因系统的绝缘电阻问题损坏电子设备内部器件，并且一定要做好人身防护，测试中有危险电压产生时，将测试仪器和被测设备放置在绝缘性能好的绝缘板上；进行耐压测试时，要按照标准要求升高试验电压，保持足够的试验时间，遵照相关的操作规范；绝缘测试后，应对电子产品设备能否正常工作进行测试。试验后造成的设备不正常工作或器件损坏，裁定为击穿，测试不合格。

针对绝缘测试，在产品设计时应注意以下几个方面。

（1）选用线材应满足绝缘要求和温度要求。

（2）在装配时，线缆不应承受机械应力，防止线缆被尖锐部件刮伤，在出线孔处做好防护。

（3）在装配时，防止部件（如螺钉、导电压簧）脱落。

（4）在装配时，应避免电源线与通信信号线交叉。

4.3 绝缘测试整改技巧

绝缘测试首先要按照标准的测试方法进行，把该断开的设备和器件断开，施加标准的试验电压。若电子设备的绝缘出现问题，一般表现如下。

（1）绝缘电阻偏低，不满足要求。

（2）绝缘电阻为零，试验电压加不上去。

（3）耐压试验出现击穿放电现象。

（4）耐压试验出现闪络现象。

如果在测试某端口时出现问题，就需要针对该端口查找问题的原因。端口的绝缘电阻为零，一般是内部有防雷器件直接泄放造成的；或者是线缆破损，造成了击穿放电；或者是配线错误，直接接到了地上。在查找原因的时候，需要逐个排除。有相当一部分问题是在装配和配线时产生的，因此，习惯用绝缘测试来验证测试产品生产装配的缺陷。

绝缘电阻偏低或者即使满足要求，但与设计相差甚远都是存在问题的，有可能是印制板走线与机箱的边缘或者金属固定件之间的距离较近，不符合安全的爬电距离造成的，曾经出现过放电烧糊痕迹。

随意提高试验电压，可能损坏引脚之间的绝缘性能，引起放电。标准中规定对不同的信号电压端口施加不同的试验电压。

耐压击穿放电多为爬电距离不够，在处理时，可以在放电的引脚或端子之间涂抹绝缘物质来提高系统的绝缘性能。曾经在对某端口进行测试时，芯片的引脚之间发生放电现象，那么就采用涂抹硅橡胶处理，再次试验时，没有发生放电现象。

印制板在完成时，按照规程是需要喷三防漆的，通过改变引脚间的介质提高引脚之间的绝缘性能。

系统的绝缘出现问题时，就不要再进行后续的测试了，系统的绝缘是基本的测试，系统绝缘问题是影响很大的，如果继续后续的电磁兼容和雷电测试，将会造成设备的损坏。曾经做一个系统的测试时，全部测试项目测完，设备全部损坏了，需全部更换。

4.4 小结

绝缘是电子产品系统的基本要求，是从用户使用安全角度考虑的。系统的绝缘问题会导致触电事故的发生，影响其他方面，如抗扰度和骚扰发射性能。

各行业的绝缘测试标准要求有所不同，但测试方法大同小异，都是要求在施加电压时，按照一定的要求上升，避免因上升过快对设备的损坏。试验电压一般是按照信号电压等级范围确定试验电压等级。

绝缘测试分绝缘电阻测试和绝缘耐压测试。绝缘电阻测试主要测试端子与外壳之间的等效电阻值，体现静态绝缘性能；绝缘耐压测试主要测试器件之间的距离是否满足要求，系统绝缘是否存在破损等，体现动态绝缘性能。



绝缘测试时，首先需要做好人身防护，因为在测试中有危险电压的存在。其次要按照标准进行，试验电压及施加过程要符合规范要求。最后做好测试后的产品功能验证，和测试的结果一起来进行判断测试是否通过。

绝缘测试切忌重复试验和随意提高试验电压测试，其对设备有一定的隐形损伤，虽然可能不会及时表现出来，但对产品来说是一个很大的隐患。

第 5 章

电磁兼容测试

本章主要介绍电磁兼容测试方面的技术。首先从电磁兼容的基本概念入手，介绍电磁兼容的三要素、测试标准及方法。其次根据测试项目分别介绍电磁兼容的测试技术。最后通过测试实例进一步阐述电磁兼容测试的整改技巧。

干扰源、敏感源、耦合路径是电磁兼容的三要素，任何电磁兼容问题都可以通过三要素进行分析，从根本上寻找解决问题的方法。

电磁兼容的测试标准主要有基础类、通用类、产品类、专用类标准，其他类标准都是引用国家基础类标准的，它们是结合了领域、行业、产品等特点及要求衍生出来的标准。测试方法是以基础类标准要求为准的。

国家标准对应的测试项目一般包括 12 项，其中 EMI 测试项目 2 项，EMS 测试项目 10 项，每项测试都有测试方法及要求。

本章节将重点介绍电磁兼容测试技术，通过对每个测试项目进行分析阐述，介绍电磁兼容测试整改方法及技巧。

5.1 电磁兼容测试基础

5.1.1 电磁兼容三要素

电磁兼容三要素是电磁兼容设计及测试的基础，具体指干扰源、敏感源、耦合路径，如图 5.1 所示。

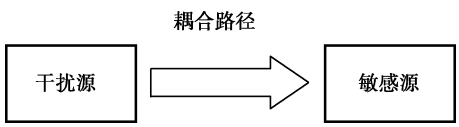


图 5.1　电磁兼容三要素

正是具备了这三个要素，才产生了电磁兼容问题，所以在测试整改方面都是从这三要素上进行处理的。

减少干扰源、切断耦合路径、提高敏感源的抗干扰能力是处理电磁兼容测试问题的基本思

想。实际情况是，一旦产品开发完成，系统的干扰源、敏感源是一定的，不容易改变，耦合路径在这三个要素中处于关键位置，耦合途径往往既是 EMI 信号的耦合路径，又是 EMS 信号的耦合路径。所以耦合路径对于电磁兼容问题有着重要的意义，切断耦合途径是最有效的电磁兼容处理措施。

1. 干扰源

干扰源一般指任何可能引起装置、设备、系统性能降低或对有生命物质或无生命物质产生损害的电磁现象。电磁干扰可以是电磁噪声、无用信号，也可以是传输媒介自身的变化。

按照设备的干扰来源可分为自然干扰源和人为干扰源。自然干扰源包括的内容如下。

（1）大气噪声干扰。如雷电产生的火花放电属于脉冲干扰，其覆盖范围从几赫兹到 100MHz 以上。传播的距离相当远，对设备的危害是比较大的。

（2）太阳噪声干扰。太阳噪声干扰指太阳黑子的辐射噪声。在太阳黑子活动期间。黑子的爆发可产生比平稳期高数千倍的强烈噪声，致使电子通信系统瘫痪。

（3）宇宙噪声。宇宙噪声指来自银河系的噪声，比如星体的碰撞产生的辐射等。

（4）静电放电。人体、设备上所积累的静电电压可高达几万伏直到几十万伏，常以电晕或火花方式泄放，称为静电放电。静电放电产生强大的瞬间电流和电磁脉冲，会导致静电敏感器件损坏。在木地板上行走，很容易积累静电，在你接触金属物体时，便会产生静电放电现象。

人为干扰源指由于电气电子设备和其他人工装置产生的电磁干扰，指无意识的干扰。干扰会使电磁环境恶化，影响环境中的电子设备正常工作，使电子设备功能异常或丧失。在电磁干扰中，人为干扰源占有相当大的一部分，其存在于人们的日常生活或工作中，且范围很广，所有电子电器都是人为干扰源，对电磁环境产生不同程度的影响。任何电子电气设备都可能产生干扰。主要的人为干扰源如下。

（1）无线电发射设备。无线电发射设备包括移动通信系统、广播、电视、雷达、导航及无线电通信系统，一般发射功率越大，信号强度也越大，产生功能性干扰、谐波及因信号加密而发射的无用信号干扰也越大。

（2）工业、科学、医疗设备。如感应加热设备、高频电焊机、X 光机、高频理疗设备、透视设备等。强大的输出功率对空间产生很大的辐射干扰，产生大量谐波干扰通过工频电网干扰线路上的其他设备，可能致使其他系统故障，无法使用。

（3）电力设备。电力设备包括伺服电机、继电器、电梯等设备通、断产生的电流剧变，以及伴随的电火花、电力系统中的非线性负载（如电动机、氩弧焊等设备启动和停止产生的干扰），不间断电源（UPS）等电源转换设备在转换过程中产生大量谐波。

（4）汽车、内燃机点火系统。汽车点火系统产生干扰，从几百千赫兹到几百兆赫兹干扰强度都比较大。

（5）电网干扰。电网干扰指由 50Hz 交流电网强大的电磁场和大地漏电流产生的干扰，电网逆变、斩波产生的干扰以及高压输电线的电晕和绝缘断裂等接触不良产生的微弧和受污染导体表面的电火花。

（6）生活电器，如微波炉、电磁炉、变频空调等。有研究称，生活电器对人身的危害不容忽视。

目前电子产品日益增多，电器在人们的生活中广泛使用，这些电器都为人们生活的便利提供了条件，但是另一方面带来的电磁污染也不容忽视，我们的生活空间存在大量的电磁波，随时在被电磁辐射。电子设备的工作环境日益恶化，对电子设备的可靠性要求提高，既要求电子设备具有很好的抗干扰性，又要求电子设备的电磁发射指标满足相关标准要求。

电磁干扰的传输路径原理如图 5.2 所示。有通过电源线、信号线、地线、大地等途径传播的“传导干扰”，也有通过空间直接传播的“空间辐射干扰”。

这些噪声并不独立存在，在传播过程中电磁噪声会出现叠加复合，会出现新的复杂噪声，可能通过传输介质而被放大。

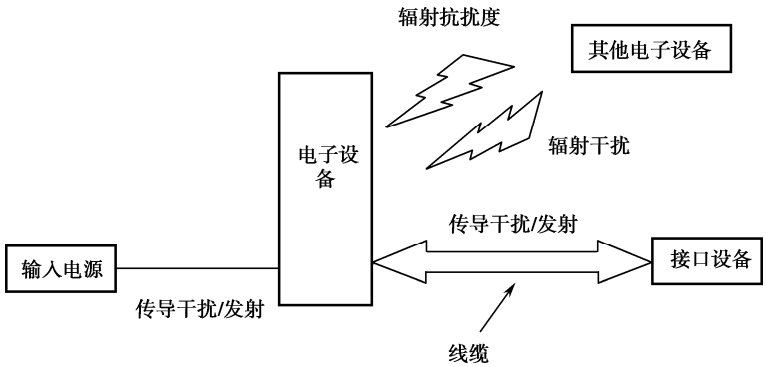


图 5.2　传输途径示意图

2. 耦合路径

电磁干扰可以通过导线传输，即通过电子设备的电源线、通信线、信号线等直接侵入敏感设备，这种方式称为传导干扰。干扰源周围存在的电场和磁场会对电子设备附近的敏感设备产生干扰，同时干扰会以电磁波的方式向远处空间传播，从而影响远处的敏感设备工作，这种方式称为辐射干扰。本质上说，电磁干扰的耦合途径有两种：传导和辐射，如图 5.3 所示。

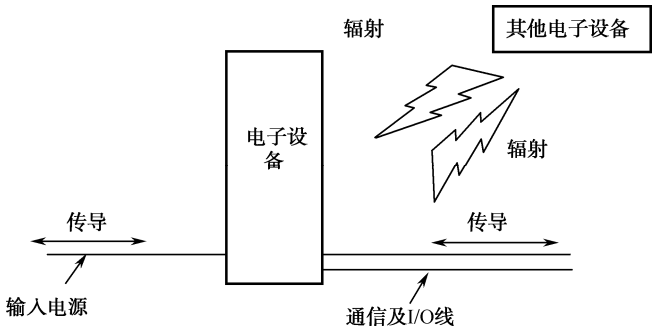


图 5.3　电子设备的耦合途径

1）通过导线的传导干扰

在电路设计时，导线作为理想的连接线，没有电气特征，而实际应用中，导线是有电阻、电感、电容的，特别是在频率比较高的时候，这些分布参数将对信号的传输有着重要的影响。

常用特性阻抗（Z）来表示导线的分布参数。

$$Z=\sqrt{\frac{L}{C}}$$

式中　Z——导线的特性阻抗；

L——导线的分布电感；

C——导线的分布电容。

特性阻抗与导线中传输的电压、电流无关，只与导线的结构、介质有关，同轴电缆的特性阻抗一般为 50Ω或 75Ω，双绞线的特性阻抗一般为 120Ω左右。

在信号传输中，需要考虑阻抗匹配问题。阻抗匹配可以减小信号在导线中的衰减，抑制信号的畸变，提高信号的传输质量和效率，从而提高系统稳定性。

干扰电流在导线上传输有两种方式：共模和差模。如干扰电流在导线上形成大小相等、方向相反的电流为差模电流，干扰电流在导线上形成方向相同的电流称为共模电流。一般有用的信号为差模信号，因此共模电流只有转变为差模电流，才能对有用信号产生干扰。这种转变是由电路的阻抗是否平衡决定的，一般的差分电路属于平衡电路，平衡电路可以阻止共模电流向差模电流的转变，从而提高导线的抗干扰能力。

2）通过空间的辐射干扰

干扰的空间辐射本质上是通过场的形式进行空间传播的。场可以分为近场和远场，其中近场也称为感应场，与场源的性质密切相关，当场源为高电压小电流时，主要表现为电场，如果场源为低电压大电流时则主要表现为磁场，无论是电场还是磁场，当距离大于$\lambda/2\pi$时，都变成了远场，远场又称为辐射场。

电磁波可以通过单点辐射、平行线环路辐射、单导线辐射向空间辐射干扰。电磁波辐射有两个必要条件：变化的电压电流和辐射天线。只存在变化的电压电流，没有辐射天线，是不会产生大量的辐射干扰的。

在一台电子设备进行辐射发射测试的时候，不接外部输入输出电缆的时候，满足标准要求，而在接入电缆的时候出现严重超标，辐射干扰是通过天线发射出来的，如图 5.4 所示，系统的输出线缆充当了天线的作用。

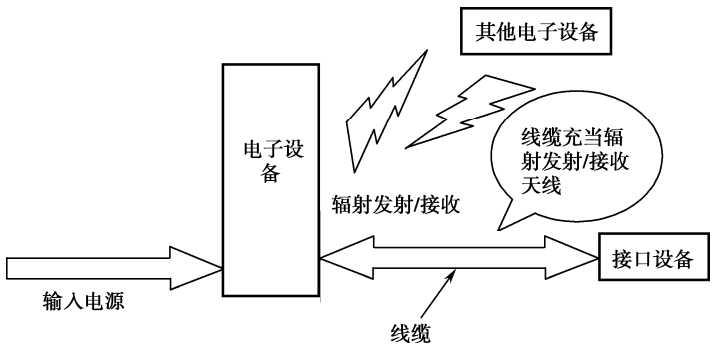


图 5.4　设备辐射示意图

3. 电磁干扰敏感源

电磁干扰敏感源是指容易受到电磁干扰影响的设备，一般是系统的一部分，主要表现在功

能暂时性异常、通信错误、指示灯异常闪动、错误输出、故障等。

电磁干扰敏感源按照影响范围一般分为板级敏感源与系统敏感源。常见的板级敏感源有晶振、控制器、继电器、调理电路、通信 IC 等；常见的系统敏感源有通信单元、电源端口、输入/输出端口等。任何依靠电磁原理工作的电路和设备都可能是电磁敏感源，可以是噪声电压、噪声电流、电场、磁场、电磁场。

显像管电视机的工作原理是利用电子在磁场中的运动，对磁场特别敏感。当附近有大电流的设备或大负载通断时，电视屏幕都会出现抖动；显示器对磁场敏感是一个公认的现象，一般显示器的抗磁场能力比系统设备的要求低，在标准中特别指出；电路对空间电磁波的响应必须通过天线进行接收，电子设备的线缆可能是电磁辐射天线，也可能成为接收天线。

敏感器件一般都是被封在一个金属盒子中，通过金属屏蔽提高其稳定可靠性。电子设备的输入、输出线缆也都是采用屏蔽线缆，通过屏蔽接地，滤除干扰，同时减少设备通过传导和辐射对其他设备的干扰。

5.1.2 电磁兼容测试标准

电磁兼容测试标准是进行产品设计及测试的指导性文件，是产品需求的一部分，是电子产品系统设计的依据。我国的电磁兼容标准一般分为：基础标准、通用标准、产品类标准、专用标准。

1. 基础标准

基础标准是制定产品标准、行业标准和通用标准的基础。基础标准一般描述电磁现象、环境特征、试验方法、试验仪器、试验等级、基本试验装置等，一般不涉及具体的产品。

基础标准规定了达到电磁兼容要求的基本条件和规则，它一般针对各个行业，不规定具体要求，各个行业再依据基础标准进行细化，确定满足的等级及要求。常见的基础标准如表 5.1 所示。

表 5.1 常见的基础标准

国际基础标准	国家基础标准
IEC61000-4-1 第 4 部分 试验与测量技术抗扰度试验总论	GB/T 17626.1 电磁兼容 试验和测量技术抗扰度试验总论
IEC61000-4-2 第 4 部分 试验与测量技术静电放电抗扰度试验	GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术静电放电抗扰度试验
IEC61000-4-3 第 4 部分 试验与测量技术射频电磁场辐射抗扰度试验	GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术射频电磁场辐射抗扰度试验
IEC61000-4-4 第 4 部分 试验与测量技术电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
IEC61000-4-5 第 4 部分 试验与测量技术浪涌（冲击）抗扰度试验	GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术浪涌（冲击）抗扰度试验

续表

国际基础标准	国家基础标准
IEC61000-4-6 第 4 部分 试验与测量技术射频感应的传导骚扰抗扰度试验	GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术射频感应的传导骚扰抗扰度试验
IEC61000-4-8 第 4 部分 试验与测量技术工频磁场抗扰度试验	GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术工频磁场抗扰度试验
IEC61000-4-9 第 4 部分 试验与测量技术脉冲磁场抗扰度试验	GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术脉冲磁场抗扰度试验
IEC61000-4-11 第 4 部分 试验与测量技术电压暂降、短期中断和电 压变化抗扰度试验	GB/T 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术电压暂降、短期中断和电 压变化抗扰度试验
IEC61000-4-12 第 4 部分 试验与测量技术振荡波抗扰度试验	GB/T 17626.12 电磁兼容 试验和测量技术振荡波抗扰度试验

2. 通用标准

通用标准是针对没有产品类标准及产品标准的产品而制定的，是在特定环境下规定了产品的最低 EMC 要求。它适用于特定环境下的所有产品及系统。通用标准按照特定环境分为两大类：工业环境和居民区、商业区及轻工环境。

1）工业环境

工业环境指工业、科学和医疗设备工作环境，大的电感或电容负载频繁的通断，或者是大电流并伴有强磁场的场合。

2）居民区、商业区及轻工环境

居住区如住宅、公寓、社区等，商业区如商场、超市、银行、娱乐场所等，轻工环境如轻工业工厂、实验室等。

制定通用标准必须参考基础标准，因为它们不包含详细的测量和试验方法，以及试验所需要的设备等。通用标准只规定了一少部分测试要求及试验方法，大部分的试验方法需要参考基础标准。常见的通用 EMC 标准如表 5.2 所示。

表 5.2　常见的通用 EMC 标准

国际通用技术标准	国家通用技术标准
IEC61000-6-1 第 6 部分：通用标准 住宅区、商业区和轻工业环境的抗扰度标准	GB/T 17799.1 通用标准 住宅区、商业区和轻工业环境的抗扰度标准
IEC61000-6-2 第 6 部分：通用标准 工业环境的抗扰度标准	GB/T 17799.2 通用标准 工业环境的抗扰度标准
IEC61000-6-3 第 6 部分：通用标准 住宅区、商业区和轻工业环境的发射标准	GB/T 17799.3 通用标准 住宅区、商业区和轻工业环境的发射标准
IEC61000-6-4 第 6 部分：通用标准 工业环境的发射标准	GB/T 17799.4 通用标准 工业环境的发射标准

3. 产品类标准

产品类标准是指一组类似产品的标准，也称为行业标准。产品类标准比通用标准包含了更多的特殊性和详细的性能要求。

GB 9254《信息技术设备的无线电骚扰测量方法和限值》就是一个产品类标准，是信息技术行业标准，TB/T 3073—2003《铁道信号电气设备电磁兼容性试验及其限值》也是一个产品类标准，是铁路行业标准。常见的产品类 EMC 标准如表 5.3 所示。

表 5.3 常见的产品类 EMC 标准

序　号	行　业	国　标	IEC/EN 标准
1	家用电器、电动工具和类似器具	GB 4343.1—2009 家用电器、电动工具和类似器具的电磁兼容要求 第 1 部分：发射 GB 4343.2—2009 家用电器、电动工具和类似器具的电磁兼容要求 第 2 部分：抗扰度	CISPR14-1：2005 CISPR14-2：2008
2	音视频设备	GB/T 9383—2008 声音和电视广播接收机及有关设备抗扰度限值和测量方法	EN55020
3	卫星电视广播接收机	GB 13836—2000 电视和声音信号电缆分配系统 第 2 部分：设备的电磁兼容 GB 13837—2003 声音和电视广播接收机及有关设备无线电骚扰特性限值和测量方法	EN50083-2 EN55013
4	信息技术设备	GB/T 17618—1998 信息技术设备抗扰度限值和测量方法 GB 9254—2008 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法	CISPR24：1997/EN55024 CISPR22：2006/EN55022
5	照明电器	GB 17743—2007 电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法	CISPR15：2005 EN55015
6	电信终端设备	YD/T993—2006 电信终端设备防雷技术要求及试验方法	
7	工业科学医疗设备	GB 4824—2004 工业、科学和医疗射频设备电磁骚扰特性 限值和测量方法	CISPR11：2003 EN55011
8	铁道行业	GB/T 24338.5—2009 轨道交通 电磁兼容 第 4 部分：信号和通信设备的发射与抗扰度	IEC62236.4：2003

4. 专用标准

专用标准是针对具体产品而制定的标准，是将电磁兼容要求编写到了产品的技术条件中而形成了独立的标准。

（1）GB/T 7620.2—2003《不间断电源设备（UPS）第 2 部分 电磁兼容性（EMC）要求》是针对具体产品（UPS）而制定的专用标准。

（2）GB/T 15709—1995《交流电气化铁道电力机车运行产生的无线电辐射干扰测量方法》

是针对电力机车制定的专用标准。

（3）GB/T 18387—2001《电动车辆的电磁场辐射强度的限值和测量方法带宽 9kHz～30MHz》是针对电动车辆制定的专用标准。

（4）GB 19483—2004《无绳电话的电磁兼容性要求及测量方法 》是针对无绳电话制定的专用标准。

5.1.3　电磁兼容测试方法

我们国家的电磁兼容测试主要分为两大类，也就是被人们常说的军标和民标。军标一般适用于航空航天、军用设备等；民标一般适用于工业设备、民用设备等。这里主要介绍民标中电磁兼容的测试方法。

按照 GB 17626 系列标准，电磁兼容测试项目一般包括：静电放电抗扰度试验、射频电磁场辐射抗扰度试验、电快速瞬变脉冲群抗扰度试验、浪涌（冲击）抗扰度试验、射频场感应的传导骚扰抗扰度试验、工频磁场抗扰度试验、脉冲磁场抗扰度试验、电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验、振铃波浪涌抗扰度试验、交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验等。按照 GB 9254—2008《信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法》中规定，一般对产品进行传导发射和辐射发射试验。

1. 静电放电抗扰度试验

通常，静电放电抗扰度试验适用于在可能产生静电放电环境中使用的所有设备，应考虑直接放电和间接放电，限于在 ESD 控制环境下使用的设备，而非电子设备类产品可除外。优先选用的试验方法是在实验室内进行的形式试验，包括对导体表面和对耦合板的接触放电及在绝缘表面上的空气放电。

受试设备保持正常运行方式，当受试设备有模拟检测设备时，应对其进行隔离和去耦，减少出现设备故障误指示的可能性。

1）对受试设备直接施加的放电

除非在通用标准、产品标准或产品类标准中有相关规定外，静电放电只施加在正常使用时人员可接触到的受试设备上的点和面。一般情况下静电放电测试不包括维修时才接触到的点和面、在用户保养时接触的点和面、设备安装后不再接触的点和面、同轴和多芯连接器的芯线。

为了确定故障的临界值，试验电压应从最小值到选定的试验电压值逐渐增加，最后的试验值不应超过产品的规定值。

试验应以单次放电的方式进行，在预选点上至少施加十次单次放电，连续单次放电之间的时间间隔至少 1s，静电放电发生器应保持与实施放电的表面垂直，在接触放电的情况下，放电电极的尖端应在操作放电开关之前接触受试设备。

对于表面涂漆的设备应采用两种操作程序。一种是设备厂家未说明涂层为绝缘层，发生器的电极头应穿入涂层以便于导电层接触，另一种是厂家说明是绝缘层，则只进行空气放电。

在空气放电的情况下，放电电极的圆形放电头应尽可能快地接近并触及受试设备，每次放电后，将静电发生器移开，然后重新触发发生器，进行新的单次放电，这个程序应当重复至放

电测试完成为止。

2）间接放电

对放置于或安装在受试设备附近的物体的放电应对耦合板接触放电的方式模拟。包括两种方式：水平耦合板和垂直耦合板。对水平耦合板放电应在水平方向对其边缘施加，至少施加十次单次放电；对垂直耦合板放电时应将耦合板平行于受试设备放置且保持 0.1m 的距离。

2. 射频电磁场辐射抗扰度试验

射频电磁场辐射抗扰度试验适用于射频电磁场环境中使用的所有设备，非电子设备除外。试验在电波暗室中进行，电波暗室是安装吸波材料用以降低内表面电波反射的屏蔽室。一般采用双锥和对数周期天线进行试验。台式设备应放置在 0.8m 高的绝缘试验台上，落地设备应置于高出地面 0.1m 的非金属支撑物上。用 1kHz 的正弦波对信号进行 80%的幅度调制后，在预定的频率范围内进行扫描试验，在每一频点上驻留时间应不短于 0.5s，一般采用 1s。当受试设备能以不同方向放置使用时，应对各个侧面进行试验。每一侧面需在发射天线的两种极化状态下进行试验，即垂直极化和水平极化。

3. 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

电快速瞬变脉冲群抗扰度试验适用于与供电网络连接或有电缆（如通信信号电缆等）靠近供电线路的设备。受试设备都应放置在接地参考平面上，用厚度为 0.1m 的绝缘支座与之隔开。试验发生器和耦合/去耦网络直接放置在接地平面上，并与之搭接，接地参考平面的各边至少应比受试设备超出 0.1m，接地参考平面与保护地相连接。与受试设备相连接的电缆应放置到接地参考平面上方 0.1m 的绝缘支架上，不经受脉冲群测试的电缆应尽量远离受试电缆，减少线间耦合。受试设备按照实际应用现场的安装方式进行接地，使用耦合夹时，耦合装置与受试设备之间的信号线和电源线的长度应为 0.5m±0.05m。电源端口采用 33nF 电容直接注入的方法，输入、输出及通信端口采用容性耦合夹耦合的方法进行测试。台式设备电源端口测试设备布局示意图如图 5.5 所示，利用耦合夹测试的示意图如图 5.6 所示。

当对两台受试设备同时进行测试时，耦合夹与受试设备之间的距离需要满足要求（0.5m±0.05m）；当对一台受试设备进行测试时，耦合夹与非受试设备之间必须去耦或隔离。

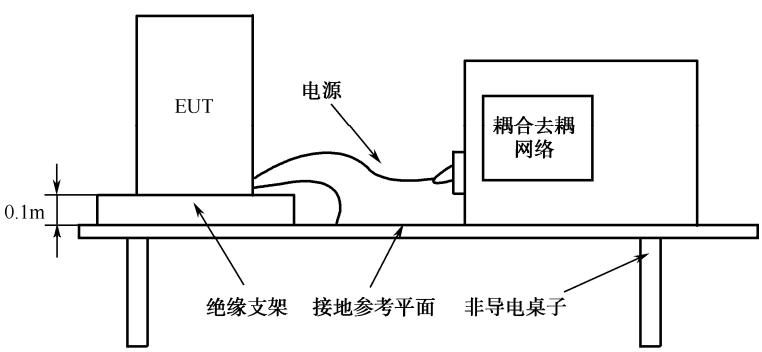


图 5.5　台式设备电源端口测试设备布局示意图

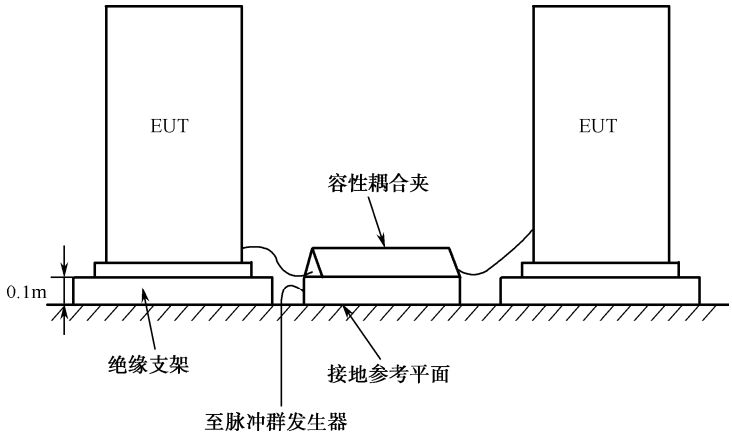


图 5.6　利用容性耦合夹测试试验示意图

4. 浪涌（冲击）抗扰度试验

浪涌抗扰度试验通常适用于与建筑外的网络或电网连接的设备。浪涌抗扰度试验主要模拟电力系统开关瞬态及雷电瞬态产生的干扰。常见的电力系统开关瞬态包括：电力系统切换骚扰、开关动作或负载变化、与开关器件相关联的谐振现象、系统故障；雷电瞬态包括：直接雷击、感应雷击产生的干扰现象。

浪涌抗扰度试验需要使用耦合/去耦网络，将受试设备与电网或模拟设备分开，受试设备与耦合/去耦网络之间的线缆长度不应超过 2m。产品应在产品正常工作范围内所要求的气候条件下进行测试，如果湿度很高，在产品上产生凝露，则不应进行试验。

试验前应确定试验的等级（电压），一般施加在直流电源端口和互连线上的浪涌次数为正、负极性各 5 次，对交流电源端口，应分别在 0°、90°、180°、270°相位施加正、负极性各 5 次的浪涌脉冲，也就是选择进行 0°、90°（正极性状态下）和 180°、270°（负极性状态下）各 5 次的浪涌脉冲，也有的只进行 90°（正极性状态下）和 270°（负极性状态下）各 5 次的浪涌脉冲。脉冲间隔时间一般建议在 1min。试验时，受试设备应工作在典型工作状态下。

5. 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验

射频场感应的传导骚扰抗扰度试验适用于有射频场存在而且连接到电网或其他网络的设备。一般要求对产品的输入电源端口、通信及 I/O 端口进行测试，对电源端口采用耦合去耦网络进行试验，对通信及 I/O 端口采用电磁钳耦合方式进行试验。

受试设备应在预期的运行和气候条件下进行测试，依次将试验信号发生器连接到耦合装置上，其他的非测试电缆或不连接，或使用去耦网络去耦。

扫频范围从 150kHz～80MHz，根据试验等级设置信号电平，骚扰信号是经过 1kHz 正弦波调制，调制到 80%的射频信号。一般情况下，步进为先前频率的 1%，在每个频率点上驻留时间为 1s，对敏感的频率点可以单独进行测试。

6. 工频磁场抗扰度试验

工频磁场抗扰度试验宜限于对磁场敏感的设备。对体积小的台式设备采用浸入法进行试

验，即将 EUT 放置在感应线圈中部。对于体积大的柜式设备，垂直方向采用浸入法进行试验，侧面采用邻近法进行试验，即感应线圈置于测试附近进行试验。常见的感应天线大小尺寸为 1m×1m。

7. 脉冲磁场抗扰度试验

脉冲磁场抗扰度试验主要适用于安装在发电厂的设备，模拟开关设备通断产生的干扰。脉冲磁场抗扰度的测试方法类似于工频磁场抗扰度试验，根据受试设备的大小，分别选择浸入法和邻近法进行试验。根据产品的要求选择试验等级（电流），分别进行正负各 5 次的脉冲干扰，一般的脉冲时间间隔 1min。

8. 电压暂降、短时中断及电压变化抗扰度试验

电压暂降、短时中断及电压变化抗扰度试验适用于连接至交流电网的设备，对额定工作电流有所限制，要求额定电流不大于 16A 的设备，电流过大，对电网及测试设备影响很大。它是由电网、电力设备的故障或负荷突然出现大的变化引起的。一般情况下会出现两次或更多次连续的暂降或中断，电压变化是由连接到电网中的负荷连续变化引起的。电压暂降、短时中断在标准中给出电压降落值及持续时间，电压变化是供选择进行测试的内容。

受试设备应按照试验等级和持续时间进行试验，进行三次电压暂降或中断试验，最小间隔 10s，且应在设备典型的工作模式下进行试验。电压暂降、短时中断试验一般在电源电压过零时进行试验。

9. 振铃波浪涌抗扰度试验

振铃波浪涌抗扰度试验适用于连接到交流电网的设备。振铃波是由电源和控制线开关切换或雷击引起的，并出现在设备（设备端口）的端子上。

振铃波浪涌（第一峰值）的电压上升时间为 0.5μs±20%，电流上升时间≤1μs，振荡频率为 100kHz±10%，衰减为前一峰值的 60%。振铃波浪涌抗扰度试验要求至少进行正负各 5 次的瞬态脉冲干扰，一般选择的时间间隔为 1min。一般只对电源端口进行测试，试验电压通过耦合去耦网络施加在受试设备的电源端口，选择不同的试验信号发生器阻抗进行试验。

当受试设备连接在主配电板时，试验信号发生器阻抗选用 12Ω。当受试设备连接在引出插座时，试验信号发生器阻抗选用 30Ω。

10. 交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验

交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验适用于对交流电源过零时间准确性敏感或对特定的谐波分量敏感的设备。

谐波是具有频率为供电系统运行频率整数倍的正弦电压和电流。谐波骚扰通常是由具有非线性电压–电流特性的设备或者由于负荷的周期性及线性同步操作引起的，来自不同谐波源的谐波电流在网络阻抗上产生谐波电压降。

谐间波是在工频的谐波电压和谐波电流之间，可以观察到一些不是基波频率整数倍的频率，它们以离散的频率或以一个宽带频谱出现。

谐波的测试分为谐波组合试验和扫描试验。谐波组合试验包括平顶波和尖顶波两种试验，



平顶波的每半个波形由三部分组成。第一部分从零开始，按正弦函数变化，分别达到试验等级要求的峰值，第二部分为一恒定的电压，第三部分是与第一部分相对应的正弦电压。尖顶波是由相应相位关系的离散的 3 次和 5 次谐波叠加而产生的。扫描试验方法是在不同的频段施加不同幅度的谐波进行试验。

在进行交流电源谐波试验时，按照平顶波、尖顶波和扫描试验的方法对系统进行试验。

11. 传导发射

传导发射试验是测试系统电源及端口的传导骚扰情况，系统产品的测试不应超过所要求的骚扰限值。一般只进行电源端口试验。

电源端口的试验是通过电源网络和接收机进行的，通过电源网络给系统供电，接收机测试电源端口的骚扰值。接收机有两种检波器：平均值检波器和准峰值检波器。如果带有准峰值检波器的接收机测得的数据也能满足平均值限值要求，则可以认为受试设备同时满足两种限值的要求。传导发射试验一般测量 0.15～30MHz 频段。

12. 辐射发射

辐射发射试验是对整个系统进行试验，测试系统的辐射骚扰情况，不应超过所要求的骚扰限值。它一般在电波暗室中进行测试，利用天线进行垂直及水平极化方向测试，两方向均需满足要求。

在 30～1000MHz 频率范围内，用带有准峰值检波器的接收机进行测量，用天线来测量辐射场，天线到受试设备的距离一般为 3m 或 10m，两种距离下要求不同的骚扰限值。

5.2 EMI 测试

EMI（Electro Magnetic Interference）是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰不能超过一定的限值，不应产生超过相应标准所要求的电磁能量，含义是电子设备的工作不应影响周围其他设备的工作。对设备的干扰值相关标准有明确的定义，国家基础标准为 GB 9254，它是用来规定信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法的，一般在产品的通用技术条件或检验细则中有明确的要求。

系统的 EMI 测试主要包括端口的传导发射测试和系统的辐射发射测试。端口的传导发射测试是指电源、通信或 I/O 端口通过线缆传输的骚扰，系统的辐射发射骚扰是系统通过空间向空间辐射的骚扰。

EMI 测试是系统对其他设备或空间产生的骚扰，标准中对骚扰限值有严格的要求。如今，电磁环境日益恶化，产品都需要满足相关的标准要求，才能准予生产销售。

5.2.1 EMI 测试项目

电子系统的各种端口（如电源端口、通信端口和信号端口）通过线缆会把干扰传导至电网或其他设备，电子设备工作时会向空间辐射干扰。EMI 测试就是测试上述两部分，通过测试，给出一个具体的定量指标。

在电子设备的端口中，与其他系统关系最大的就是电源端口。电子系统产生的干扰通过输入电源线传输到电网中，形成谐波及杂散干扰，可能影响电网中的其他设备正常工作，因此在产品的测试时，一般只选择电子系统的输入电源端口进行测试。

电子产品的辐射主要体现在以系统的输入、输出线缆为发射天线的辐射，对环境中的其他设备引起干扰，对操作维护人员产生危害。

综上所述，EMI 测试项目主要包括电源线上的传导发射与系统辐射发射。

5.2.2 EMI 测试理论

EMI 测试包括传导发射与辐射发射两方面的内容。传导发射一般体现在低频段，而在高频段一般表现为系统辐射。

1. 电源线上的传导发射

系统会对输入电源线产生干扰，通过传导至电网，影响电网中的其他设备正常工作。传导发射一般的测试频段为 0.15～30MHz，在此频段内，以 0.5MHz 为界分为两个频段，这两个频段有不同的骚扰限值要求。

在进行电源线上的传导骚扰时，分别记录在两个频段内的最大值及所处的频率点，测试电子产品的骚扰是否满足测试要求。

电源线的传导发射建议在电波暗室中进行，以免其他设备及空间干扰对受试设备的影响。当条件不满足时，可以定性定量地测试一下，如果在实验室环境下能满足要求，或留有足够的余量，则可以认为通过传导发射测试。

电源线的传导发射测试是将系统电源通过人工电源网络进行供电，利用接收机进行测量。使用人工电源网络的原因是为了在端子电压测量点上提供规定的高频阻抗，并把被测电路和电网隔离开。

受试产品的配置、安装、布置和运行应与典型应用情况相一致，受试设备的接口应全面，保证每一类型的接口至少有一个相连。测试用的线缆要与实际应用相一致，理论上应该选择实际应用场合中最长的长度，保证试验的一致性。受试设备需要与现场应用设备相同，包括布局、走线等，尽量模拟现场。

在进行电源端口的传导发射测试时，系统的所有通信、输入输出端口必须保证已经被连接，并且工作正常。

不同行业要求可能有所不同，以 GB 9254—2008《信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法》为例，电源端口的测试等级分为 A 类和 B 类，要求如表 5.4 和表 5.5 所示。

表 5.4　A 级电源传导发射限值

频率范围/MHz	限值/db（μV/m）	
	准　峰　值	平　均　值
0.15～0.5	79	66
0.5～30	73	60
注：过渡频率时应采用较低限值。		

表 5.5　B 级电源传导发射限值

频率范围/MHz	限值/db（μV/m）	
	准　峰　值	平　均　值
0.15～0.5	66～56	56～46
0.5～5	56	46
5～30	60	50
注：1．过渡频率时应采用较低限值。 2．在 0.15～0.50MHz 频率范围内限值随频率的对数呈线性减小。		

2. 辐射发射

辐射发射是测试电子产品及系统通过设备外壳的电磁泄漏及线缆向空间辐射的电磁能量。设备外壳的缝隙及散热孔都会使产品内部的电磁能量辐射到空间环境，电子产品的线缆一般被认为接收天线和发射天线，其对一定的电磁能量可以进行接收和发射，接收过来的电磁能量属于辐射抗扰度的范畴，发射出去的电磁能量就是属于辐射发射。

辐射发射试验对设备的布置有严格的要求。立式设备放置在 0.1m 的绝缘支架上，对于台式设备放置在 0.8m 高的非导电桌子上，可以按照 3m 或 10m 的距离进行测量。

辐射发射一般的测试频率范围为 30～1000MHz，用带有准峰值检波器的接收机进行测量。测试天线一般选用双锥天线和周期对数天线组成的混合宽带天线，分别进行垂直与水平极化测试。

以 GB9254—2008《信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法》为例，辐射发射分为 A 级和 B 级要求，如表 5.6 和表 5.7 所示。

表 5.6　A 级辐射发射测试限值

频率范围/MHz	测量距离为 10m 准峰值限值/db（μV/m）	换算为测量距离为 3m 准峰值限值/db（μV/m）
30～230	40	50
230～1000	47	57
注：1．过渡频率时应采用较低限值。 2．当发生干扰时，允许补充其他的规定。		

表 5.7　B 级辐射发射测试限值

频率范围/MHz	测量距离为 10m 准峰值限值/db（μV/m）	换算为测量距离为 3m 准峰值限值/db(μV/m）
30～230	30	40
230～1000	37	47
注：1．过渡频率时应采用较低限值。 2．当发生干扰时，允许补充其他的规定。		

1GHz 以上的频率测试就需要选择喇叭天线，喇叭天线的测试频率一般为 1～18GHz。1GHz 以上的频率也分为两个测试等级，如表 5.8 和表 5.9 所示。

表 5.8　A 级测试距离为 3m 的辐射发射测试限值

频率范围/GHz	平均值限值/db（μV/m）	峰值限值/db（μV/m）
1～3	56	76
230～1000	60	80
注：过渡频率（3GHz）时应采用较低限值。		

表 5.9　B 级测试距离为 10m 的辐射发射测试限值

频率范围/GHz	平均值限值/db（μV/m）	峰值限值/db（μV/m）
1～3	50	70
230～1000	54	74
注：过渡频率（3GHz）时应采用较低限值。		

辐射骚扰的上限频率是根据受试设备内部源的最高频率而定的。如果小于 108MHz，测量只进行到 1GHz；如果在 108～500MHz，测量进行到 2GHz；如果在 500～1GHz，则测量进行到 5GHz。

在测试中，EMI 的要求是用限值来表示的，超过限值即判定为不合格。

5.2.3　EMI 测试整改技巧

在进行 EMI 测试时，电子产品及系统需要满足性能判据 A 类的要求，即不允许发射超过所要求的。出现问题就是骚扰超标。

1. 传导发射测试整改

在进行传导发射测试时，需要设备的地线接好，电源部分输入、输出电缆严禁交叉，测试电缆放置在绝缘支架上进行。与测试设备无关的设备建议关闭，或者是将测试在屏蔽室或暗室中进行。

出现问题后安装滤波器是有效方法之一，从成本和效果上都是可行的。也可以安装隔离变压器，但是隔离变压器成本较高，因此优先选用安装滤波器，如果处理不了再采用隔离的方法。

根据线缆中信号的类型选择合适的滤波器，滤波器在安装方面有具体的要求，否则滤波器起不到真正的作用。正确的安装方法是将滤波器直接与接地平面接触，其输入、输出线分开走线，接地用短而粗的接地铜带连接。

如果出现传导发射超标，首先应分析骚扰超标的频率点，分析在该频率下工作的设备，或者是频率点的半数倍及整数倍，找到干扰源。

可以参考如下步骤对传导发射问题进行分析和整改。

（1）检查配线，避免滤波器前后的电源交叉在一起，隔离变压器输入输出的电源线不能交叉在一起。

（2）检查滤波器地线，保证滤波器可靠接地。

（3）检查测试设备的接地情况，保证测试电源网络可靠接地。

（4）检查系统有无引出电源。被测试设备的引出电源回路也会影响到源端的传导发射，如果有电源，需要做好隔离措施。



（5）在电源入口处安装闭合磁环，起到一定的高频滤波效果。

（6）传导发射测试项目受外界环境影响较大，建议在电波暗室中进行测试。如果没有电波暗室，可以在实验室进行测试，需要注意接地，尽量保持其他与受试设备无关的设备处于断电不工作状态。

2. 辐射发射测试整改

在电子产品系统进行辐射发射测试时，应将电子设备的外壳（包括每个面）都良好的电器连接在一起，系统的孔缝进行布置导电压簧或导电泡棉以减小电磁泄漏处理，系统可靠接地，线缆不要直接放置在接地平面上，应放置在绝缘支架上，若放置在地面上可能引起地线辐射干扰，影响测试结果。

测试出现的问题和传导发射测试相同，都是骚扰超标，不满足要求。对辐射发射问题最有效的方法是屏蔽，屏蔽可以阻止系统内部的干扰向空间辐射，同时降低外界干扰对系统的影响。

系统的线缆应采用屏蔽双绞线，在两端进行可靠接地，线缆会成为系统的辐射天线，可见对线缆的处理是很重要的。

辐射发射问题的根本原因是在设计上，设计时是否考虑信号的屏蔽、滤波措施，是否防范了信号之间的串扰问题，一旦设计完成后，出现问题只能从外部进行处理，对设备进行屏蔽、隔离和滤波等。

系统的核心控制部分应进行特别的防护，如振荡部分可以进行铺地处理，与其他外部设备的接口进行光电隔离或继电器隔离，设计干扰防护电路。

辐射发射超标问题，可以参考以下几个方面进行整改。

（1）检查机柜的屏蔽性能，门是否关好，出线孔是否合好，导电泡棉位置是否合适。

（2）输入输出线的屏蔽层接地是否良好，是否安装了磁环。磁环对处理机柜系统的辐射发射超标问题有一定的效果。

（3）在测试中，机柜相当于一个屏蔽体，输入输出电缆在柜外越长，辐射发射越大，将多余的输入输出线放置在机柜中，减小出机柜线的辐射量。

（4）系统引出线不要直接放置在电波暗室的地板上，引出线会向大地辐射，经反射会被接收天线接收，影响测试结果。

（5）实验要求可以将辅助测试设备放置在吸波材料的后方，减少辅助测试设备对测试结果的影响。

（6）若系统有高频的信号源，尽量降低发射功率，减小设备对测试结果的影响。

（7）设备工作状态不要依赖于辅助通信设备，因为如果超标，允许将辅助设备关掉进行测试。

（8）被测设备外部使用的电源不要采用开关电源，开关电源产生的辐射是比较大的，可以使用稳压电源。

5.3 EMS 测试

EMS（Electro Magnetic Susceptibility）是指设备对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程

度的抗扰度，含义是设备对周围环境的适应能力，设备是否能在电磁环境中正常工作，是否能抵御周围的电磁干扰。换句话说，处在一定环境中的设备或系统，在正常运行时，设备或系统能承受相应标准规定范围内的电磁能量干扰，或者说设备或系统处于一定范围内的电磁能量环境中，能按照设计性能保持正常的运行。

EMS 测试是测试电子产品及系统对电磁干扰的抗扰能力，测试电子产品及系统在电磁干扰中能否正常工作。换句话说，测试电磁干扰对电子产品系统的影响程度，是否满足相关的性能判据，是否满足产品技术条件的要求。

5.3.1 EMS 测试项目

一般情况下，国标中进行的电磁抗扰度测试有 10 项，分别为：静电放电抗扰度试验，射频电磁场辐射抗扰度试验，电快速瞬变脉冲群抗扰度试验，浪涌（冲击）抗扰度试验，射频场感应的传导骚扰抗扰度试验，工频磁场抗扰度试验，脉冲磁场抗扰度试验，电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验，振铃波浪涌抗扰度试验，交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验。

测试一般分为电源端口、通信信号端口、整系统，且测试方法及要求是不一样的。

（1）电源端口一般进行电快速瞬变脉冲群抗扰度试验，浪涌（冲击）抗扰度试验，射频场感应的传导骚扰抗扰度试验，电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验，振铃波浪涌抗扰度试验，交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验。

（2）通信信号端口一般进行电快速瞬变脉冲群抗扰度试验、浪涌（冲击）抗扰度试验、射频场感应的传导骚扰抗扰度试验。

（3）整系统一般进行静电放电抗扰度试验、工频磁场抗扰度试验、脉冲磁场抗扰度试验、射频电磁场辐射抗扰度试验。

5.3.2 EMS 测试理论

EMS 测试考察电子产品系统的抗扰能力，标准中对每项测试的等级及干扰波形进行了细化说明，以下对每项测试分别详细介绍。

1. 静电放电抗扰度试验

静电放电抗扰度测试模拟操作人员或物体在接触设备时的放电，人或物体对临近物体的放电。静电放电可能产生以下后果：直接通过能量交换引起半导体器件的损坏、放电所引起的电场磁场变化、造成设备的错误动作、放电的噪声电流导致器件的错误动作。

静电放电抗扰度测试分为接触放电和空气放电两种。一般的电子产品系统都规定了具体的静电放电指标。接触放电主要针对设备的面板、固定螺钉、操作按钮等，空气放电针对非金属外壳、孔缝、指示灯周围等。

静电放电抗扰度测试的标准为 GB/T17626.2《电磁兼容试验和测量技术静电放电抗扰度试验》，该标准中，明确了静电波形和试验等级。

静电放电的电流波形如图 5.7 所示。

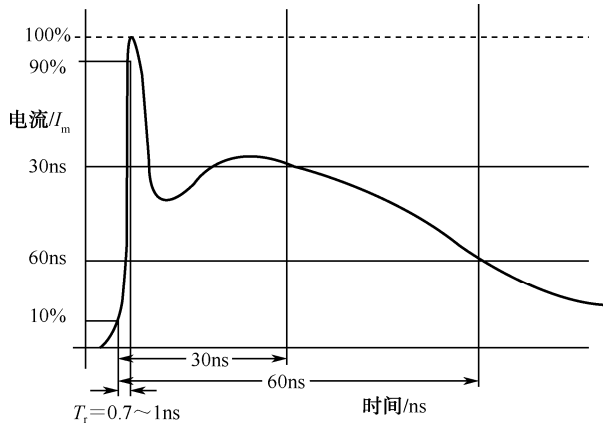


图 5.7　静电放电的电流波形

标准中定义的试验等级如表 5.10 所示。

表 5.10　静电放电试验等级

1a 接触放电		1b 空气放电	
等　　级	试验电压/kV	等　　级	试验电压/kV
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
X	特殊	X	特殊
注：X 是开放等级，该等级必须在专用设备的规范中加以规定，如果规定了高于表格中的电压，则可能需要专门的测试设备。			

2. 射频电磁场辐射抗扰度试验

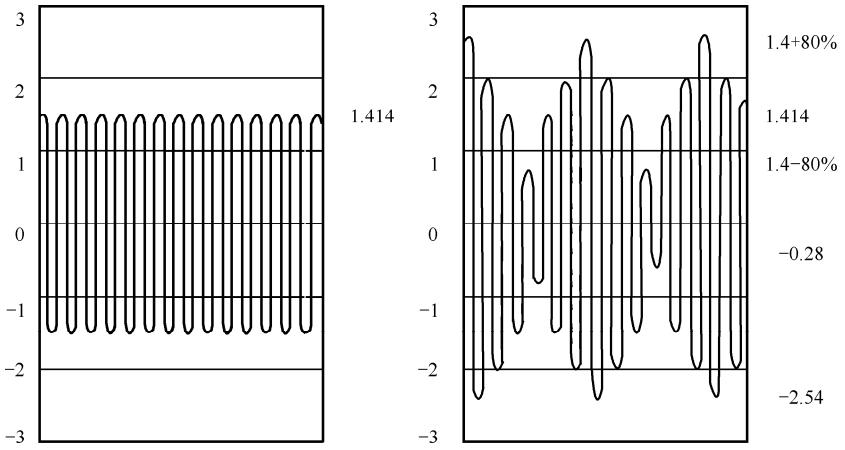
电子设备工作环境中存在的射频发射装置会对产品产生射频电磁场辐射，可能是在正常工作时或在产品维护的时候。测试的目的是测试电子设备的抗射频电磁场辐射干扰的能力。射频场辐射可能使电子设备工作异常，产生不应有的报警，采集数据可能出现偏差，影响设备的使用。射频场辐射一般是暂时性的干扰，干扰消除后，电子设备会恢复正常工作。

按照标准 GB/T 17626.3—2006《电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验》的要求，一般的试验等级如表 5.11 所示。

表 5.11　一般的试验等级

等　　级	试验场强（V/m）
1	1
2	3
3	10
X	特定
注：X 是一个开放的等级，可在产品规范中规定。	

表 5.11 中给出的是未调制的场强。实际测试时，需要用 1kHz 的正弦波对未调制信号进行 80%幅度调制来模拟实际情况，如图 5.8 所示。



（a）未调制射频信号

V_{pp}=2.8V，V_{rms}=1.0V

（b）80%AM射频调制信号

V_{pp}=5.1V，V_{rms}=1.12V

$V_{maximumrrms}$=1.8V

图 5.8　信号发生器输出端波形

3. 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

电快速瞬变脉冲群简称 EFT（Electrical Fast Transient），是指脉冲群有特定的持续时间（规定为 15ms）和特定的脉冲周期（300ms）的脉冲，如图 5.9 所示。

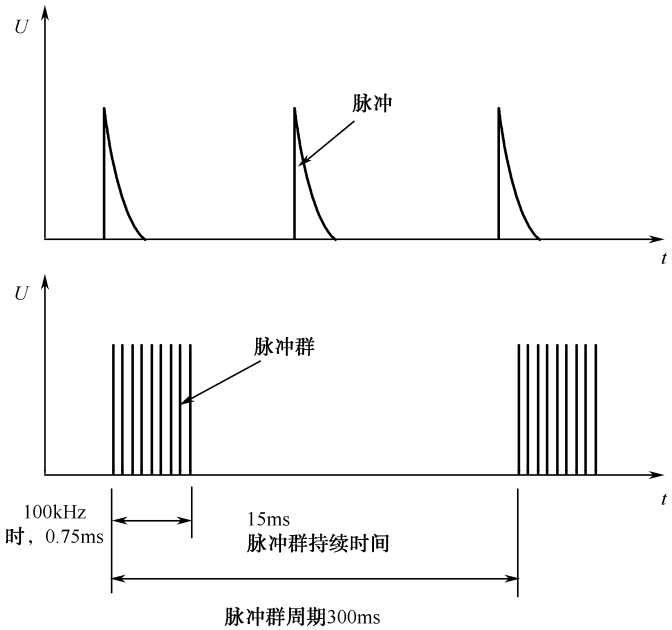
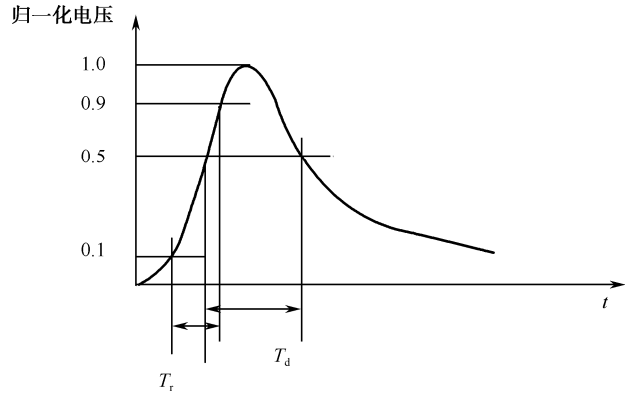


图 5.9　快速瞬变脉冲群概略图

脉冲群中的单个脉冲有特定的重复周期、电压幅值、上升时间和脉宽。脉冲重复周期分别为 2.5kHz、5kHz、100kHz，电压幅值分别为 0.5kV、1kV、2kV、4kV，单脉冲上升时间为 5ns，脉宽为 50ns，如图 5.10 所示。



T_r=5（1±30%）ns
T_d=50（1±30%）ns

图 5.10　接 50Ω负载时单个脉冲波形

电快速瞬变脉冲群抗扰度测试模拟电路中机械开关对电感性负载的切换，产生连续的脉冲干扰，使电子产品通信异常，功能失效。脉冲群通常会影响测试设备的通信，使通信数据错误或丢包，使受试设备误动作。一般情况下，在测试后受试设备会正常工作。

测试依据标准：GB/T 17626.4—2008《电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》。标准中要求的试验等级如表 5.12 所示。

表 5.12　脉冲群测试试验等级

开路输出试验电压和脉冲的重复频率				
等级	在供电电源端口，保护接地（PE）		在 I/O（输入/输出）信号、数据和控制端口	
	电压峰值/kV	重复频率/kHz	电压峰值/kV	重复频率/kHz
1	0.5	5 或 100	0.25	5 或 100
2	1	5 或 100	0.5	5 或 100
3	2	5 或 100	1	5 或 100
4	4	5 或 100	2	5 或 100
X	特定	特定	特定	特定

注：1. 传统上用 5kHz 的重复频率，然而 100kHz 更接近实际情况，专业标准化技术委员会应决定与特定的产品或者产品类型相关的那些频率。

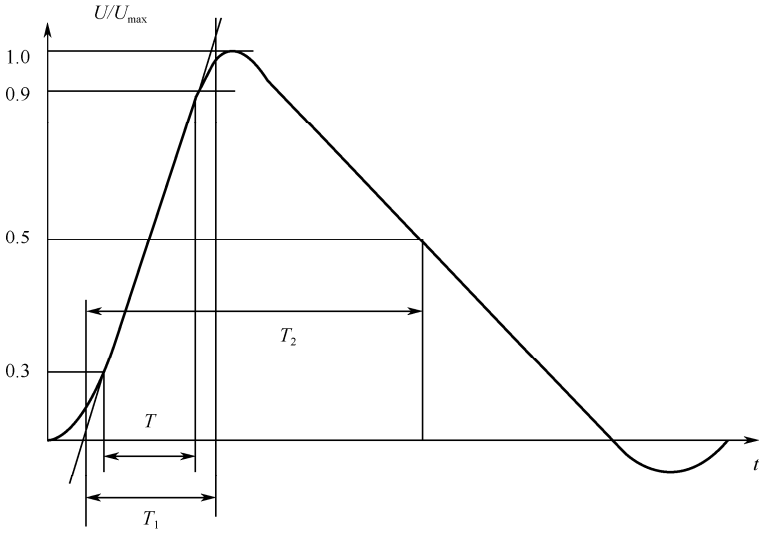
2. 对于某些产品，电源端口与 I/O 端口之间没有清晰的区别，专业标准化技术委员会应根据实验目的来确定如何进行。

3. X 是一个开放等级，在专用设备技术规范中必须对这个级别加以确定。

4. 浪涌（冲击）抗扰度试验

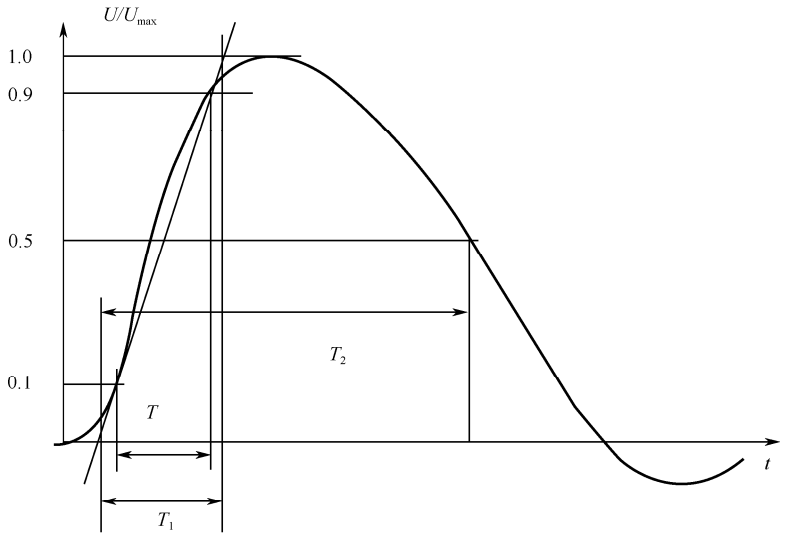
浪涌主要模拟间接雷，如雷电击中的户外线路，有大量电流流入户外线路或接地电阻，产生干扰电压；雷电击中临近物体产生电磁场，在线路上感应的电压和电流；雷电击中地面，地电流通过公共接地系统时所引入的干扰。浪涌是一种高电压短时能量，可能使电子元器件损坏，浪涌影响面很大，目前大功率设备日益增多，存在于电源中的浪涌电压比较多。浪涌测试的波

形如图 5.11 和图 5.12 所示。



波前时间：T_1=1.67×T=1.2×（1±30%）μs
半峰值时间：T_2=50×（1±20%）μs

图 5.11　开路电压波形（1.2/50μs）



波前时间：T_1=1.25×T=8×（1±30%）μs
半峰值时间：T_2=20×（1±20%）μs

图 5.12　短路电流波形（8/20μs）

测试标准：GB/T 17626.5—2008《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌冲击抗扰度试验》的规定。测试等级如表 5.13 所示。

表 5.13　浪涌（冲击）测试试验等级

等　　级	开路试验电压（±10%）kV
1	0.5
2	1.0
3	2.0
4	4.0
X	特定
注：X 可以是高于、低于或在其他等级之间的任何等级。该等级可以在产品标准中规定。	

5. 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验

电子产品在实际工作中，由于产品需要与其他系统设备相连，从而使得系统工作环境复杂。射频场感应的传导骚扰会通过线缆影响设备的正常工作，测试就是为了评估电子产品系统的传导抗扰度性能。

在通常情况下，被干扰设备的尺寸要比频率较低的干扰波的波长小得多，相比之下，设备引线的长度可能达到干扰波的几个波长，设备引线变成了被动接收天线，接收射频场的感应干扰，在引线中变成传导干扰侵入设备内部，最终以射频电压电流形成的近场电磁场影响设备工作。

测试标准为：GB/T 17626.6—2008《电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度》，试验等级如表 5.14 所示。

表 5.14　射频场感应的传导骚扰抗扰度试验等级

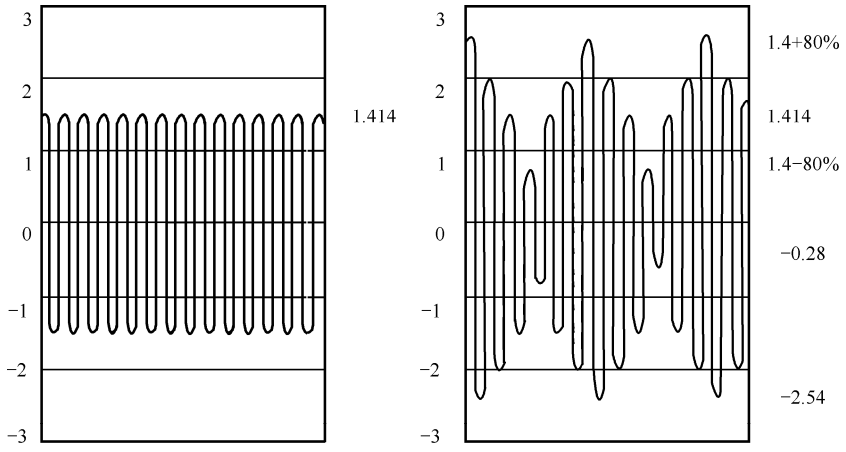
频率范围 150kHz～80MHz		
试 验 等 级	电压（e.m.f.）	
	U_0/dBuV	U_0/V
1	120	1
2	130	3
3	140	10
X	特定	
注：X 是一个开放等级。		

表 5.14 中所表示的是未调制骚扰信号的开路试验电压（e.m.f.），测量设备时，该信号是用 1kHz 正弦波调幅（80%调制度）来模拟实际骚扰影响的。以等级 1 为例，实际测试波形如图 5.13 所示。

6. 工频磁场抗扰度试验

工频磁场抗扰度主要模拟工频磁场干扰。大功率的交流电子设备会在周围产生比较大的工频磁场干扰，影响其他设备工作。工频磁场是以空间辐射的方式进行测试的。

工频磁场利用线圈进行测试，在线圈中注入工频大电流（电压）（国标四级要求 100A），测试存在于线圈中的设备工作情况。



（a）未调制射频信号

U_{pp}=2.82V，U_{rms}=1.00V

（b）80%AM射频调制信号

U_{pp}=5.09V，U_{rms}=1.12V

图 5.13　测试等级 1 时，耦合设备 EUT 端口开路电压波形

按照标准 GB/T 17626.8—2006《电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验》的要求，稳定持续磁场的试验等级如表 5.15 所示。

表 5.15　稳定持续磁场的试验等级

等　级	试验场强（V/m）
1	1
2	3
3	10
4	30
5	100
X	特定
注：X 是一个开放的等级，可在产品规范中规定。	

1～3s 短时试验等级如表 5.16 所示。

表 5.16　1～3s 短时试验等级

等　级	试验场强（V/m）
1	—
2	—
3	—
4	300
5	1000
X	特定
注：X 是一个开放的等级，可在产品规范中规定。	

7. 脉冲磁场抗扰度试验

脉冲磁场抗扰度模拟脉冲磁场干扰。大功率设备及继电器的通断会产生脉冲干扰，会以脉冲磁场的方式影响空间存在的设备。

按照标准 GB/T 17626.9—2006《电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验》的要求，稳定持续磁场的试验等级如表 5.17 所示。

表 5.17　脉冲磁场的试验等级

等　　级	试验场强（V/m）
1	—
2	—
3	100
4	300
5	1000
X	特定
注：X 是一个开放的等级，可在产品规范中规定。	

试验磁场的波形为 6.4/16μs 的标准电流脉冲波形如图 5.14 所示，该波形与 IEC60-2 中的 8/20μs 的波形相对应。

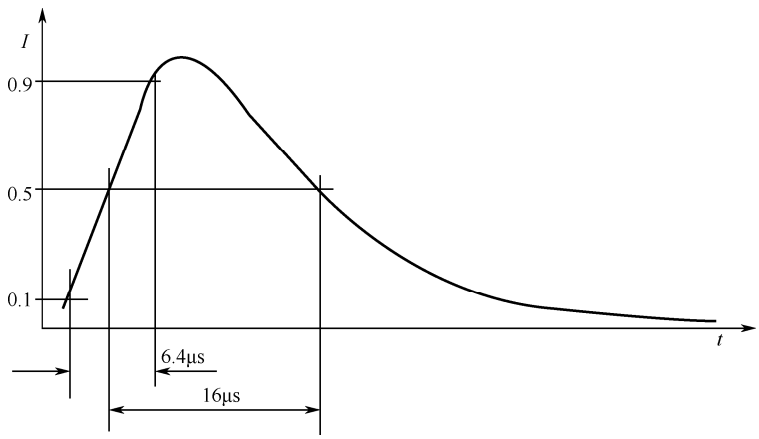


图 5.14　脉冲磁场的试验波形

8. 电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验

电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度模拟电网电压变化、短时中断（几个周期）和电压暂时性降低等。在实际应用中电网的异常波动是很正常的，因为电网中的设备负载是变化的，这些设备负载一般都不是纯阻性的，感性的或容性的负载在通断时，都会对电网产生影响。

电压瞬间跌落、短时中断是由电网、变电设施的故障或负荷突然出现大的变化所引起的，电压变化是由连接到电网中的负荷连续变化引起的。

电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度测试是电子设备最基本的要求。电子设备工作离不开电源，一般电子设备的电源电压范围都比较宽，用来防止由于电网的电压波动影响设备工作。

参照标准 GB/T 17626.11—2008《电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验》要求，测试要求如表 5.18、表 5.19 和表 5.20 所示。

表 5.18 电压暂降试验等级和持续时间

类 别[a]	电压暂降的试验等级和持续时间（t_s）（50Hz/60Hz）				
1 类	根据设备要求依次进行				
2 类	0% 持续时间 0.5 周期	0% 持续时间 1 周期	70% 持续时间 25/30 周期[c]		
3 类	0% 持续时间 0.5 周期	0% 持续时间 1 周期	40% 持续时间 10/12 周期[c]	70% 持续时间 25/30 周期[c]	80% 持续时间 250/300 周期
X 类[b]	特定	特定	特定	特定	特定

a 分类依据：第 1 类 适用于受保护的供电电源。

第 2 类 适用于商用环境的公共耦合点 PCC 和工业环境的内部耦合点（IPC）。

第 3 类 适用于工业环境的 IPC。

b X 类由有关的标准化技术委员会进行定义，对于直接或间接连接到公共网络的设备，不低于 2 类的要求。

c “10/12 周期”是指“50Hz 试验采用 10 周期”和“60Hz 试验采用 12 周期”。

“25/30 周期”是指“50Hz 试验采用 25 周期”和“60Hz 试验采用 30 周期”。

“250/300 周期”是指“50Hz 试验采用 250 周期”和“60Hz 试验采用 300 周期”。

表 5.19 短时中断试验优先采用的试验等级和持续时间

类 别[a]	短时中断的试验等级和持续时间（t_s）（50Hz/60Hz）
1 类	根据设备要求依次进行
2 类	0% 持续时间 250/300 周期[c]
3 类	0% 持续时间 250/300 周期[c]
X 类[b]	X

a 分类依据：第 1 类：适用于受保护的供电电源。

第 2 类：适用于商用环境的公共耦合点 PCC 和工业环境的内部耦合点（IPC）。

第 3 类：适用于工业环境的 IPC。

b X 类由有关的标准化技术委员会进行定义，对于直接或间接连接到公共网络的设备，不低于 2 类的要求。

c “250/300 周期”是指“50Hz 试验采用 250 周期”和“60Hz 试验采用 300 周期”。

表 5.20　短期供电电压变化的时间设定

电压试验等级	电压降低所需时间（t_d）	降低后电压维持时间（t_s）	电压增加所需时间（t_1）（50Hz/60Hz）
70%	突变	1 周期	25/30 周期 [b]
X 类 [a]	特定	特定	特定

a　X 类由有关的标准化技术委员会进行定义。

b　“25/30 周期”是指“50Hz 试验采用 25 周期”和“60Hz 试验采用 30 周期”。

9. 振铃波浪涌抗扰度试验

振铃波浪涌是一种浪涌电压测试，与浪涌（冲击）的区别在于浪涌波形电压不同，它模拟现场具有周期振荡浪涌的情况。如大型隔离设备的频繁通断，一些设备的往返运动等，都会产生周期振荡浪涌。试验相关参数如下。

1）重复率

瞬态重复率直接与基本现象的出现频率有关。当这些现象主要是由控制线负载切换引起时，其重复率高；当由故障或雷击引起时，其重复率低。

2）相位角

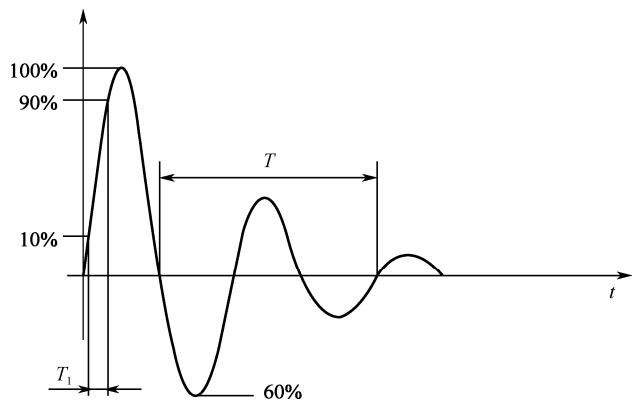
在供电电源中与振铃波有关的设备故障取决于施加瞬态时交流电压正弦波的相位角。在振铃波试验中，当保护器件放电时，可能会出现续流，续流是从连接的电源通过保护器件流过的电流或在试验放电电流流通期间及随后的任何击穿电流。

对于半导体，这种现象看来与振铃波出现时半导体装置的导电状态有关，与之相关的半导体参数包括正反向恢复特性和二次击穿特性。

设备在与相位有关方面很可能出现故障的是电源输入电路中的半导体。如果有部分或全部瞬态通过位于不同位置的其他装置，可能也会表现出与电源输入电路同样的故障。

3）反向极性

半导体对瞬态的时间和极性的敏感度是选择一种振荡波形代表周围情况的原因之一，与单向波相比振荡波更易导致严重的半导体损伤。振铃波的波形如图 5.15 所示。



T_1—上升时间（开路电压，0.5μs；短路电流，1μs）；T—振荡周期（10μs）

图 5.15　振铃波波形

至少施加 5 个正极性和 5 个负极性的瞬态脉冲，时间间隔至少 1s，根据测试端口的类型和特点进行选择发生器阻抗。当 EUT 端口连接于主配电板时，试验发生器阻抗选用 12Ω，当 EUT

端口连接于电源引出插座时，试验发生器阻抗选用 30Ω。

10. 交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频干扰抗扰度试验

交流电源谐波是一项专门针对电源中的谐波而进行的测试，电网中负载的各种特性（感性或容性）使得电网中存在多次谐波，这些谐波的存在，严重威胁着电子设备的正常工作。

交流电源谐波的频率测试范围一般为 15Hz～2GHz，按照不同的间隔，不同的百分比进行测试。

参照标准 GB/T 17626.13—2008《电磁兼容 试验和测量技术 交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频抗扰度试验》的要求，测试的具体要求如表 5.21 所示。

表 5.21 交流电源谐波测试项目表

检 测 项 目	频率或相位	等 级	幅 度
平顶波	参见注 1	3	参见注 1
尖顶波	150Hz，180°	3	基波 8.0%
扫频	15～100Hz，间隔 5Hz	3	基波 4.5%
	100～500Hz，间隔 10Hz	3	基波 14%
	500～1000Hz，间隔 10Hz	3	基波 7.0%
	1000～2000Hz，间隔 25Hz	3	基波 4.0%
注 1：平顶波（Flat curve）的时域波形函数为：0≤\|sin（*wt*）\|≤0.8 时，幅度基于基波幅值：而 0.8≤\|sin（*wt*）\|≤1 时，幅度恒为有效值的 80%。			

平顶波、尖顶波示意图如图 5.16、5.17 所示。

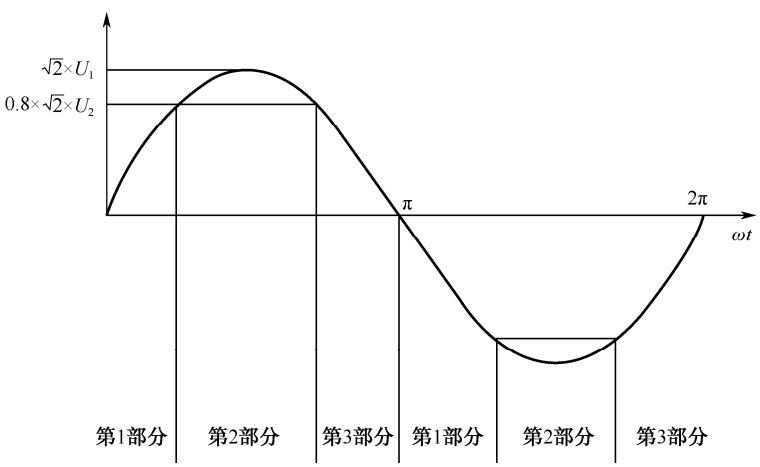


图 5.16 平顶波示意图

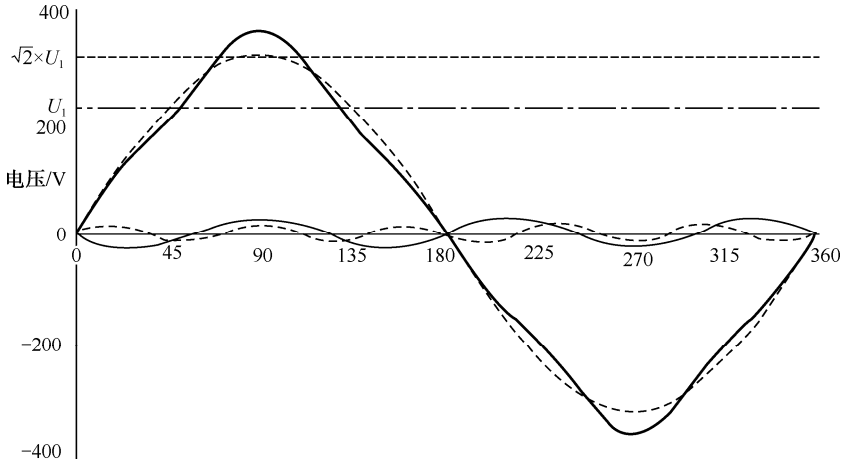


图 5.17　尖顶波示意图

在抗扰度（EMS）试验中，设备可能受到电磁骚扰而性能下降，其性能判据分为以下 4 级。

（1）在技术范围内性能正常。

（2）功能或性能暂时降低或丧失，但在骚扰停止后能自行恢复，不需要操作者干预。

（3）功能或性能暂时降低或丧失，但需要操作者干预才能恢复。

（4）因设备硬件或软件损坏，或数据丢失而造成不能恢复的功能丧失或性能降低。

5.3.3　EMS 测试整改技巧

EMS 测试对产品的布置和信号线摆放要求比较严格，一定要按照标准中的要求进行，否则可能出现不同的测试结果。根据测试类型的不同，在测试整改方面也分为三个方面。

1. 电源端口

电源端口的测试一般采取直接注入或耦合方式进行测试。对电源系统的影响主要是引起电源输出故障、电源限流保护器动作和电源电压变化等。

电源端口的防护设计一般采用浪涌抑制、滤波和隔离方式。输入应首先进行浪涌抑制，然后进行滤波，最后进行隔离，如图 5.18 所示。

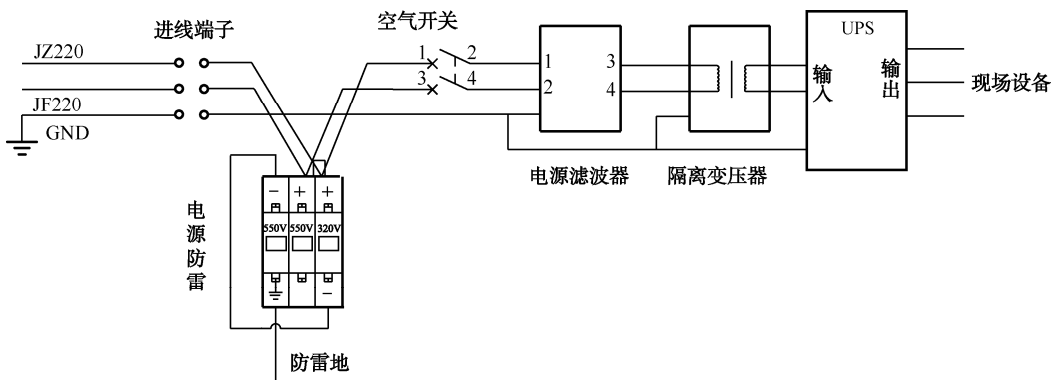


图 5.18　电源端口防护设计示意图

电源端口的布线严禁输入、输出之间的交叉，也尽量避免与其他信号线的平行布置，否则这样都会引起较大的线间干扰，降低系统的抗干扰能力。

浪涌抑制器采用“凯文接法”，以减小引线电感对系统的影响，浪涌抑制器连接导线应平直，其长度不宜大于 0.5m，它一般布置在系统电源的入口处，布线及接地都是最短的，目的是为了减少过长的引线而引入额外的残压对设备的危害，避免降低浪涌保护器的保护作用。

电源滤波器的安装要遵守其安装规范，最好将滤波器的一个面与地平面可靠接触，不易实现时，也要将其连接在铜带上，以最短的距离与接地铜排相连。滤波器的输入、输出严禁交叉或并行，避免线间干扰的产生。隔离变压器的配线也要遵守短的原则，输入、输出避免交叉。

电源端口的布线尽量遵守“凯文接法”，降低引线干扰对系统的影响。

2. 通信信号端口

通信信号端口一般采用耦合的方式进行测试，通信信号端口主要引起通信错误、信号中断、通信中断和设备的功能失效等。

通信信号端口一般设计为隔离、浪涌保护、滤波和屏蔽接地。通信信号的输入首先经过浪涌保护器接入系统，然后通过隔离进入系统内部，通信信号电缆在系统的入口处进行可靠的接地，采用 360° 环接接地方式。

浪涌保护器的内部一般是两级防护的。前级是气体放电管，后级为电阻及 TVS，保证对干扰的可靠泄放；隔离可以采用光电隔离和继电器隔离两种方式；铁氧体磁环处理通信信号高频干扰很有效。在通信信号线的两端安装闭合磁环，可以提高系统线缆的抗干扰能力。

对一些干扰问题无法解决的时候，可以考虑双层屏蔽，将外屏蔽层进行双端接地，内部屏蔽层进行单端接地，提高系统线缆的抗干扰能力。

3. 整系统

整系统测试一般是通过侵入式的方式进行，即将整系统设备置在一个特定的天线或暗室中测试整系统的工作状态和骚扰发射量。出现的问题一般为发射超标、系统工作异常等。

整系统的测试对系统的结构要求比较严格，系统的结构直接影响测试结果，主要是系统的屏蔽、对散热孔及缝隙的处理。

静电测试是针对系统的前面板进行测试的，面板之间的缝隙及内部印制板与面板的距离对测试结果影响很大。各面板之间的缝隙一般安装导电压簧，指示灯可以采用导光柱以降低干扰对印制板的影响。

在设计的时候，印制板中的器件及走线与边缘的距离都要满足安全距离的要求，内部电路一般是浮地的，距离太近可能会引起击穿放电。

为系统建立可靠的泄放通道，保证干扰的可靠泄放，避免对系统内部的影响；系统的各个面之间的缝隙安装压簧，保证可靠连接；各出线孔安装导电泡棉，提高系统结构的屏蔽效能，从而提高整系统的抗干扰能力；系统线缆放置在绝缘支架上，避免引起地线干扰。

5.4 电磁兼容测试实例解析

【实例 5.1】

【现象】

某系统为机柜式结构，内部安装欧标采集机，系统为双机热备工作方式，在进行+8kV 的空气放电的时候，出现主板重启现象，对倒机机箱（倒机锁位置）进行测试时出现倒机（出现主备机切换）。

静电测试按照国标三级进行，即接触放电±6kV，空气放电±8kV。

测试设备布局如图 5.19 所示。

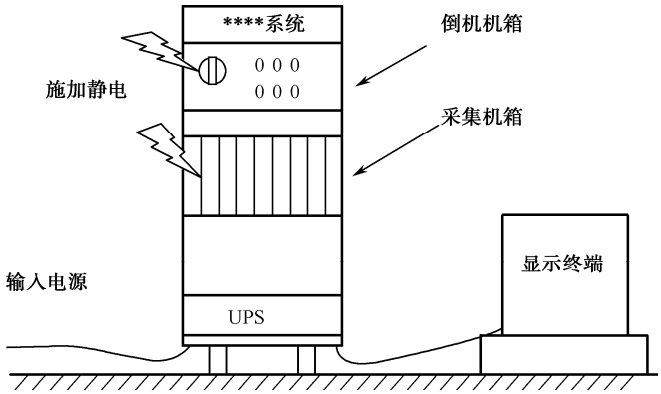


图 5.19　测试设备布局示意图

【分析整改】

1．检查了设备的接地情况，系统接地良好。经检查，发现采集机面板之间的缝隙较大，机箱为普通机箱，没有采取屏蔽处理，这可能是静电问题的一个原因。

2．对面板安装了导电压簧，机箱的横梁、机箱盖板间安装导电压簧，再次进行静电测试，测试中采集机主板工作正常。

3．对倒机机箱倒机锁附近再次进行静电测试，仍然出现倒机现象，可能也是倒机锁附近接地不畅造成的，将倒机锁下面的涂层进行了打磨处理，再次进行测试，仍然出现倒机。

4．对倒机锁的结构进行了检查，发现锁芯是金属的，与外壳不连接，就在锁芯引出了一根地线接至机柜外壳上，再次进行测试，工作正常。

【总结】

1．静电测试问题一方面可以归结为接地不畅的原因，另一方面为印制板布线问题。印制板布线距边缘太近，可能引起静电的击穿，影响产品正常工作。

2．屏蔽机箱使面板之间得到可靠连接，静电测试时，静电干扰会沿着机箱表面进行泄放，不会引入到系统内部。

3．静电干扰会在金属体上进行累积，累积到一定程度，会产生击穿，影响设备正常工作，

测试前，保证测试部位的可靠接地是很重要的。

【实例 5.2】

【现象】

某系统为机柜式结构，与其他系统接口为 RS-422 通信方式，进行电快速瞬变脉冲群测试时，出现了通信中断。

系统测试是按照国标信号四级进行测试的，即 5kHz，±2kV，1min。

系统的设备布局如图 5.20 所示。

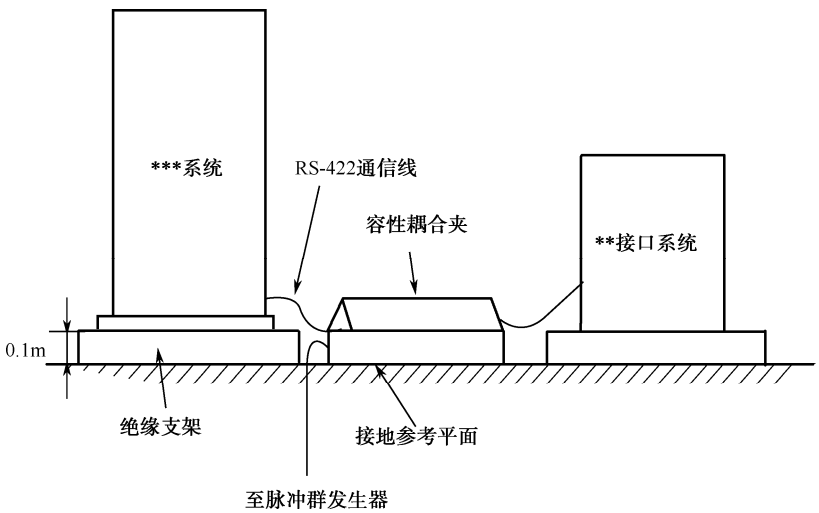


图 5.20　测试设备布局示意图

【分析整改】

1．检查系统的配线，采用 4 芯屏蔽双绞线，在系统侧进行单端接地，经测试，接地可靠。

2．电快速瞬变脉冲群测试问题主要是通过隔离、滤波方式进行解决，对系统可能会产生间歇性的错误。

3．检查线缆，没有发现隔离模块，安装了一个隔离模块，重新进行测试，还是会出现短时的通信中断。

4．采用铁氧体磁环进行滤波，在系统的入口处安装磁环，再次进行测试，系统出现偶尔的短时中断。

5．使该线在磁环中绕制三圈，重新进行测试，系统工作正常。

【总结】

1．隔离是处理电磁兼容问题的一种有效方法，使干扰通过隔离不会引入到系统内部，从而提高系统的抗干扰性能。

2．铁氧体磁环对处理高频干扰（如电快速瞬变脉冲群）有很好的效果，在绕制一圈效果不明显的情况下，可以绕制三圈，改变其频率特性，使干扰信号在铁氧体磁环中得到最大的衰减，从而使系统正常工作，不受干扰的影响。

【实例 5.3】

【现象】

某系统进行辐射发射测试时，出现超标。系统为机柜式结构，内部负责信息的采集，采集开关量与模拟量，有部分信息是通过其他系统送过来的，最终通过网络传输到显示终端进行显示。

测试频段为 30～1000MHz，系统测试在垂直及水平极化时均出现多频段超标。

测试设备布局示意图如图 5.21 所示。

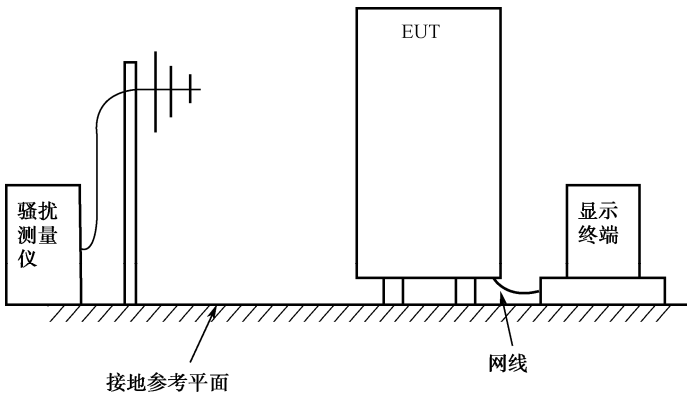


图 5.21　测试设备布局示意图

【分析整改】

1．系统在多个频段出现超标，说明系统存在的问题比较多，首先对机柜进行了检查，系统机柜采用的是屏蔽机柜，在每个侧面及门缝隙处都进行了处理，在出线孔处也进行了安装导电泡棉处理，机柜的屏蔽是没有问题的。

2．对线缆进行检查，发现系统输入输出线都放置在电波暗室的接地参考平面上，这有可能是地线干扰引起的，对引出线进行处理，放置在纸箱上，再次进行试验。

3．试验发现还有低频段的超标，低频段的超标可能是数据采集线缆产生的，在机柜的出线孔处对线缆安装铁氧体磁环，再次进行试验。

4．试验发现仅有 100MHz 附近出现尖峰超标，可能是网线发射出来的，检查发现网线出机柜后很长，散落在空间，就将多余的网线放置在机柜中，使室外的网线最短连接在显示终端上。

5．再次进行试验，试验通过。

【总结】

1．进行辐射发射测试时，系统的线缆不应放置在接地参考平面上，否则可能引起地线耦合干扰，引起辐射超标。

2．在系统的引出线上安装铁氧体磁环，这对减少线缆的发射有一定的帮助，因此在电子系统中设计安装，以防引入或引出干扰。

3．在辐射发射测试时，多余的线缆应放置在机柜（相当于屏蔽体）中，可以减少系统线缆的辐射发射，系统的输入输出线缆应采用屏蔽线缆，在系统侧做好接地。

【实例 5.4】

【现象】

某系统进行电源线上的传导发射测试时，测试数据超标。系统为柜式结构，系统输入电源经防雷，接至滤波器，接隔离变压器，然后经 UPS 给系统设备供电。

测试设备布局示意图如图 5.22 所示。

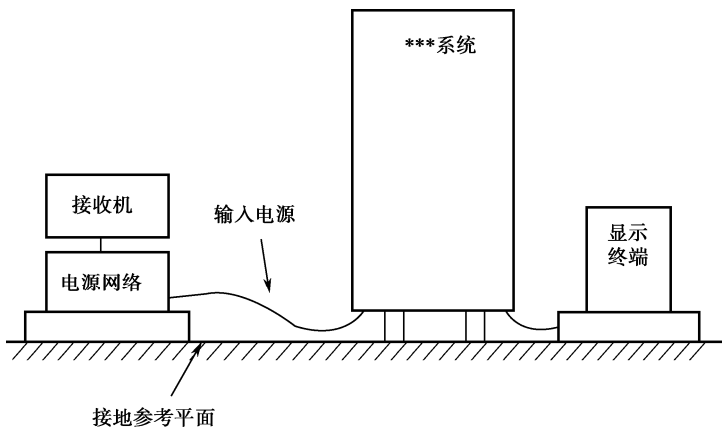


图 5.22　测试设备布局示意图

【分析整改】

1．检查系统输入电源的部分配线，输入电源在机柜的后方直接接到端子排上，在电源端子排的下方还有一个端子排是输出接口的，电源线与信号线有交叉，是不合理的。

2．按照电源端子排在机柜的最下方的原则，进行了调整，测试发现还是有部分频段出现超标。

3．检查输入电源至隔离变压器之间的配线，发现装配组为了美观，将电源部分的配线进行了捆扎，很整齐，仔细检查配线，发现滤波前后的引线又被扎在一起，滤波器没有起到真正的作用。对配线进行了更改。

4．再次进行测试，测试发现，测试值与限值很接近，在第三方认证时测试是有风险的，就仔细检查了电源部分的接地情况，发现滤波器是用一根 $1.5mm^2$ 的导线连接在地上的，可能会出现接地的问题，更改为 20cm 宽的铜带，再次进行测试，测试值与限值之间有 5dBuV 的差值，测试通过。

【总结】

1．线缆的滤波器宜安装在设备的入口处，输入与输出线缆禁止交叉，否则会产生线间干扰，影响系统的抗干扰性能和发射指标。

2．滤波器的可靠接地是很重要的，一般滤波器的外壳都是屏蔽地，以提高滤波效果，因此最好将滤波器的地面安装在接地平面上，提高滤波效果。

3．电源线与信号线应分开，平行布线会引起很大的线间干扰，可能会影响系统的正常工作，使系统的抗干扰性能降低。



【实例 5.5】

【现象】

某产品系统进行 CAN 通信线的射频场感应的传导骚扰抗扰度测试时，通信出现中断，且在多个频段均出现。

测试设备布局如图 5.23 所示。系统分为采集机和处理机，采集机负责采集现场数据，通过 CAN 通信送至处理机进行处理判断，以驱动其他设备动作，对 CAN 通信线按照电磁钳耦合的方式进行试验。

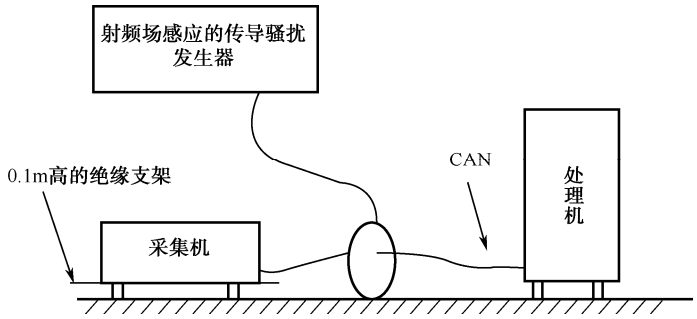


图 5.23　测试设备布局示意图

【分析整改】

1．检查线缆屏蔽层的连接情况，系统的 CAN 通信线是单端接地的，按照环接方式对另一端的屏蔽层也进行接地。

2．对出现中断的频点进行统计，发现在几兆和几十兆时出现问题，对两端安装磁环进行处理，重新进行测试，仍然出现通信中断，在高频段的中断点少了。

3．将通信线在磁环中绕制三圈，再次进行测试，发现在高频段的中断点没有了，只剩下低频段的，一般情况下铁氧体磁环的有效使用在三圈，问题已经不是在高频滤波上，再安装磁环已经没有效果了。

4．按照电磁兼容的理论，对通信线进行二次屏蔽，将外屏蔽层进行双端接地，内屏蔽层在系统入口处进行单端接地。

5．再次进行测试，发现通信正常，没有出现中断。

【总结】

1．双端屏蔽接地对处理射频场感应传导低频段的干扰有比较好的抑制效果，可以在两端安装铁氧体磁环来处理高频段的问题，如果效果不明显，需要采取其他的处理措施解决问题，考虑内部通信是否进行了隔离，增加内部防护。

2．二次屏蔽是对屏蔽线缆或设备进行屏蔽，比较难于实施，成本高。除非其他方式无法处理，尽量不采用，二次屏蔽对干扰的抑制效果很好，在一些要求比较高的产品设备中均采用二次屏蔽设计。

5.5 小结

电磁兼容测试是电子产品及系统形式试验中主要的测试，直接影响系统的稳定性、可靠性，

因此在产品系统的测试中，电磁兼容测试是主要的考察方面。

电磁兼容主要是三方面的问题，首先是产品系统本身的抗扰性能不够强，其次是在产品通信信号传输过程中引入的干扰，最后是产品系统对外的骚扰超标。产品一旦完成设计，出现的电磁兼容问题采用的主要处理方法为在耦合途径上进行处理，将线缆耦合的干扰迅速泄放，使耦合与产品内部进行隔离。

出现的电磁兼容问题，都可以通过对三要素的分析得到合理解释，并通过采取措施进行解决。这也是主要的电磁兼容处理思路，从根本上寻找原因，可以尽快得到解决。

电磁兼容的标准有国家标准，等同于 IEC 标准，通用标准及各行业标准大都是引用国家标准，国家标准中规定了测试方法及测试等级。

电磁兼容测试主要包括 EMI 与 EMS 两部分测试，EMI 为产品系统对空间环境的骚扰，EMS 测试电子产品系统的抗扰性能。EMI 测试在低频段体现为通过线缆的传导发射测试，高频段体现为通过系统天线（线缆等）的辐射发射测试。

电子产品及系统在进行电磁兼容测试前，需要检查接地情况，保证产品系统可靠接地，系统设计不管设计的多么完善，如果接地不良，测试仍会出现很多的问题，分析问题出现的原因也是最难的，任何措施都是没有效果的。产品系统接地可靠是最基本的要求，任何干扰会通过地进行泄放。系统屏蔽线缆接地要在系统的入口处进行 360° 环接接地。浪涌抑制器及滤波器的接地要求短而粗，保证可靠泄放。

产品系统滤波也是常用的处理方式，滤波器一定要安装在产品系统的入口处，其输入输出线缆严禁交叉平行布线，保证可靠接地，最好将滤波器安装在接地平面（或接地体）上。

屏蔽是处理电磁兼容有效的措施之一，包括线缆屏蔽与结构屏蔽。线缆屏蔽是在耦合路径上进行处理，使干扰在进出产品及系统之前进行隔离或泄放，不至于影响系统的正常工作。必要的时候可以采用双层屏蔽，外屏蔽层进行双端接地，内屏蔽层在产品系统侧进行单端接地。

系统的线缆在进行骚扰类的测试时，影响很大。机柜的输出线缆应尽量放置在机柜中，机柜外的线缆保证最短，出线孔用屏蔽材料进行密封，可以在输入输出线缆上安装铁氧体磁环，以减小线缆的辐射。

电磁兼容测试是衡量产品系统可靠性的主要指标，在产品设计中应综合接地、滤波、屏蔽技术进行防护设计，以保证系统稳定可靠工作。在产品测试时，整改也要结合这三方面进行处理。

第 6 章

雷电防护测试

本章主要介绍雷电防护测试基础和雷电防护技术，从雷电防护实例解析中进一步阐述雷电防护测试理论，然后从雷电防护测试技巧中，总结雷电防护测试技巧，分析系统规避设计，避免雷电设计缺陷，通过对经典设计的分析，映射雷电防护测试的注意事项。

雷电防护测试基础首先从雷电的产生、雷电的危害形式入手，介绍雷电的基本知识，然后从雷电防护的测试标准及测试方法进行解析。

雷电防护设计这一节，主要介绍雷电防护与器件选型、接地技术、隔离技术等方面的内容。详细说明雷电防护设计的方法和雷电防护设计的步骤。

雷电防护测试实例解析通过测试实例进一步阐述雷电防护设计理论，实现理论与实际相结合的目的，加深对雷电防护设计及测试的认识。

最后，从测试整改技巧上说明在雷电防护测试整改中的一些常见的整改方法及整改措施，达到顺利通过测试的目的。

本章节将重点介绍雷电防护设计、雷电防护测试和雷电防护测试整改三方面的内容。

6.1 雷电防护测试基础

6.1.1 雷电的形成与危害形式

雷电是由雷云（带电的云层）对地面建筑物和大地的自然放电引起的，它会对建筑物或设备产生严重破坏。在大气层中，当云层间或云和地之间的电位差增大到一定程度时，即发生猛烈的放电现象（闪电）。雷电的产生首先与大气层中的云有关，如层积云、雨层云、积云、积雨云等，最重要的是积雨云，积雨云就是指雷雨云。在积雨云的生成与发展的同时，云体会带有大量电荷。

在天气炎热潮湿的时候，地面上的水受热变为水蒸气，并且随地面的受热空气而上升，在空中与冷空气相遇，使上升的水蒸气凝结成小水滴，形成积云。云中水滴受强烈气流影响，分裂为一些小水滴和大水滴，较大的水滴带正电荷，小水滴带负电荷。小水滴随风聚集形成了带负电的雷云，而带正电的较大水滴常常向地面降落而形成雨，或悬浮在空中。

由于静电感应，带负电的雷云，在大地表面感应有正电荷。这样雷云与大地间形成了一个

大的电容器。当电场强度很大，超过大气的击穿强度时，即发生了雷云与大地间的放电，就是一般所说的雷击，每次放电时的电流强度平均有 2 万安培左右，放电时间很短，总的持续时间一般为 0.2s，个别的可达 1.5s。

闪电有枝状、球状、片状、条状等多种形状，但经常见到的是枝状闪电，其平均长度是 2～3km，也可达 20～30km 的。在闪电的同时，放电的路径上空气的温度瞬息间可以增高几万度，空气因急剧增热而膨胀就会引起空气的剧烈振动、冲击和爆炸，产生强烈的雷鸣，也称雷暴。由于光速比声速快，故先见闪电，后听到雷声。

雷电活动对电子设备的危害是多方面的而且是巨大的，主要通过以下形式对设备造成影响。

1. 雷击电磁脉冲

雷电直击或旁击时，对于导体会产生雷击电磁脉冲，并且其产生过电压及过电流会在瞬间造成电力不稳定或剧烈波动，甚至中断，对后级设备影响很大，强大的能量转化为热效应会烧毁设备，甚至造成火灾。

2. 闪电电磁感应

整个雷击过程都伴随着闪电电磁感应，首先闪电在导通通道中就已经形成强电磁场；其次在闪击到防直击雷的避雷设施上，进一步在周围空间产生强电磁辐射。强电磁辐射会在传输信号线路、埋地电力线及连接设备间产生电磁感应并侵入设备，使串联在线路或终端的电子设备损坏。

3. 闪电电涌入侵

雷电即便没有击中防雷设施或设备，但如果旁击到传输电缆时，通过传导的方式经电阻性耦合，也会将雷电冲击波引向电子设备。

雷电冲击波会向电子设备的电源系统侵入，侵入高压线传至高压变压器，若该变压器未装避雷器或避雷器失效，雷电波会击穿变压器初级、次级绕组间绝缘，数百千伏的雷电压就会直接侵入交流低压电源，严重破坏低压侧的信号设备。若雷电冲击波不足以动作高压避雷器或不足以击穿初次级绝缘侵入回路，雷电冲击波还会通过绕组间分布电容耦合的方式侵入电子低压回路，使电源设备产生过电压和过电流。

在开阔地上的耸立建筑、高山、大树、基站、桥梁，都容易遭到雷击。

4. 直击雷

雷电直接击到防雷设施和信号设备上，可在数微秒之内产生数万乃至数十万伏的高压，形成巨大的热能，摧毁建筑物、设备，直接危及人身安全。

在雷暴活动区域内，雷电直接通过建筑物构架、电子传输线路产生电击现象。

6.1.2 雷电防护标准

国内的大部分标准都是从国外引入的，根据国内的实际情况，融入了具有中国特色的条款，形成了我国的国家标准。

国内各地区和各行业存在不同的雷害程度和技术要求，逐渐形成了各个行业的行业标准。国家标准与行业标准共同组成了我国的雷电防护标准体系。

以下列出雷电防护有关的三个国家标准和几个广泛使用的行业标准。

1．GB 50057—2010 《建筑物防雷设计规范》（国家标准）；

2．GB 18802.1—2002 《低压配电系统的电涌保护器》（国家标准）；

3．GB/T 21714—2008 《雷电防护》（国家标准）；

4．DL/T 620—1997 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》（国家电力行业标准）；

5．DL/T 548—2012 《电力系统通信站过电压防护规程》（国家电力行业标准）；

6．YD 5098—2005 《通信局（站）防雷与接地工程设计规范》（通信行业标准）；

7．YD/T 1235.1—2002 《通信局（站）低压配电系统用电涌保护器技术要求》，YD/1235.2—2002 《通信局（站）低压配电系统用电涌保护器测试方法》（通信行业标准）；

8．YD/T 1429—2006《通信局（站）在用防雷系统的技术要求和检测方法》（通信行业标准）；

9．GA 173—2002 《计算机信息系统防雷保安器》（公共安全行业标准）；

10．GA 267—2003 《计算机信息系统雷电电磁脉冲安全防护规范》（公共安全行业标准）；

11．QX 10.1—2002 《电涌保护器性能要求和试验方法》（气象行业标准）；

12．QX 3—2000 《气象信息系统雷击电磁脉冲防护规范》（气象行业标准）；

13．QX/T 105—2009 《防雷装置施工质量监督与验收规范》（气象行业标准）；

14．QX/T 106—2009 《防雷装置设计技术评价规范》（气象行业标准）；

15．QX/T 110—2009 《爆炸和火灾危险环境防雷装置检测技术规范》（气象行业标准）；

16．TB/T 3074—2003 《铁道信号设备雷电电磁脉冲防护技术条件》（铁道行业标准）；

17．TB/T 2311—2008 《铁路信号设备用浪涌保护器》（铁道行业标准）；

18．GJB 5080—2004 《军用通信设施雷电防护设计与使用要求》（国家军用标准）。

……

以上标准，有的与 IEC 相关的标准等同、有的局部等同、有的一分为二、有的合二为一，它们都是从基础标准演绎而来的，其根本是一致的。比较全面的一个标准就是 GB/T 21714（2008 年）系列标准，它是等同于 IEC62305（2006 年）系列标准，标准分为四部分：总则、风险管理、建筑物的物理损坏及生命危险、建筑物内的电气和电子系统。

（1）总则中介绍了标准的适用范围，标准适用于建筑物及连接到建筑物的设备设施，其他系统如铁路系统、电力线、通信线等有特定权威部门制定专门的规范。介绍了术语及定义，还分别介绍了雷电流参数及雷电损害。最后介绍了建筑物和服务设备雷电防护的基本准则。

（2）风险管理部分重点介绍了风险管理的主要步骤、建筑物和服务设施的风险分量组成、建筑物和服务设施的风险估算。通过对风险的评估，确定是否进行雷电防护的各种措施，在某些情况下，风险评估可能作为判断是否放弃雷电防护要求而进行的一项技术措施。

（3）建筑物的物理损坏及生命危险部分主要介绍了建筑物内部防雷装置和外部防雷装置，最后介绍了接地和跨步电压引起人身伤害的防护措施。

（4）建筑物内的电气和电子系统部分主要介绍了接地和搭接技术、磁屏蔽和布线技术，还介绍了雷电磁脉冲防护系统的设计与安装技术。

各行业标准都是结合各自行业的特点，继承了多年对雷电电磁脉冲防护的科研成果，参考

多个国家同行业的标准，融合了我国多地区、多气候条件下的特征，最终形成了行业标准。

行业标准对本行业内的产品具有强制的效力，行业内的产品在行业标准内有的条目，一定要严格执行，没有的条目可以参考国家标准和 IEC 标准。当行业标准与国家标准有冲突时，在行业内，以本行业标准为主，当跨行业时，应以国家标准为主。

6.1.3 雷电防护测试方法

根据行业标准，制定各行业的测试方法，由于行业标准的不同，测试方法也有所不同。以下分别介绍不同行业的测试方法：

1. 铁道行业

（1）与电源馈线连接的设备，用 4/300μs 波形，电压幅值根据表 6.1 选择，进行正、负极性各 5 次，间隔为 1min，分别进行线—地和线—线冲击试验。

（2）与信号传输线连接的设备，用波形 10/700μs，电压幅值根据表 6.1 选择，进行正、负极性各 5 次，间隔为 1min，分别进行线—地和线—线冲击试验。

（3）与钢轨连接的设备，用电压幅值 10kV，波形 10/200μs 进行正、负极性各 5 次，间隔为 1min，分别进行线—地和线—线冲击试验。

（4）对雷击大地使地电位上升易被反击的设备，应进行直击雷反击模拟试验，以电压幅值 10kV，波形 1.2/50μs 进行正、负极性各 5 次，间隔为 1min，分别进行线—地和线—线冲击试验。

表 6.1 试验等级的选择

安装类别	试验等级	试验电压±10%（kV）					
		电 源		不平衡线路/长距离总线		平 衡 线 路	
		线—地	线—线	线—地	线—线	线—地	线—线
a	1	1	0.5	1	0.5	1	—
b	2	2	1	2	1	2	—
c	3	4	2	4	2	2	—
d	4	a	a	4	2	4	—
e	X	特定	特定	特定	特定	特定	特定
注：试验 X 为试验最严酷的等级，由设备安装地点决定。							
a 由当地电力系统等级决定：电力系统为架空电力线路时，线-地试验电压为 20kV，线—线试验电压为 10kV；电力系统为埋地电缆线路时，线—地试验电压为 10kV；线—线试验电压为 5kV；试验 1～3 的设备连线都是室内设备间的连线，与室外无关，试验 4 的设备与户外线路相连。							

目前针对横向测试时，有种具体的测试方法。

雷电发生器一般的设计是输出两根线：一根是雷电冲击的高端，一根是低端，可以认为是参考地。为了安全与测试的需要，一般在发生器内部是将其连接在地上的。在进行纵向测试时，

高端连接在线缆上，低端连接在地上，这样做是没有问题的。但是在测试横向时，就会出现问题。此时雷电的泄放就会有两个泄放通道，一个是通过线间的保护器进行泄放，一个是通过两线分别对地的保护器进行泄放，起不到真正测试横向的目的。

有的检测部门采用以下两种方法。一种是在测试横向的时候，将系统的防雷地线断开，使雷电泄放的途径只有通过线间保护器，从而检测线间保护能力；另一种是断开发生器内部的接地，这种测试与内部接地没有太大的区别。个人认为前者的测试方法有一定的理论基础，有其合理性。采用前者的测试方法与被测设备接地相比，测试结果是不同的，而采用后者，测试效果相同，没有差异。

2. 通信行业

防雷装置检测流程：文件检查→接地网检测→接闪器检查→雷电引下线检查→等电位检查→进局电缆雷电防护检测→内部雷电过电压防护检测→通信设备抗扰度测试。

1）文件检查

通信局（站）防雷装置应具有以下文件，并对其完整性、规范性和有效性进行检查。

- 设计文件检查。
- 检测报告检查。
- 故障记录和历年检查记录。

2）接地网检测

通信局（站）接地网的检测可通过以下 4 种因素综合确定。

- 测出的通信局（站）地网接地电阻测试值。
- 测出的大地电阻率测试值。
- 地网大小及其形状。
- 通信局（站）联合接地情况。

（注：对大地电阻率很高的特殊站点，在雷电有效冲击范围内地网无法达到规定要求时、应以地网覆盖范围大于雷电冲击半径为检测标准。另外，在本项检测中还要检查地网的设置是否符合联合接地的要求）

3）接闪器检查

接闪器要求通过目测和利用工具进行检测。

- 应对避雷针、避雷带和避雷网上所有焊点的焊接可靠性进行检查。
- 对接闪器使用的材料及横截面进行核查。
- 对避雷网的网格尺寸进行核查。
- 目测接闪器的设计安装是否符合其技术要求，检查接闪器的锈损情况。

4）雷电引下线检查

通过目测和利用工具对明设雷电引下线进行检测（暗设引下线仅检查暴露部分锈蚀及焊点问题）。

- 应对可疑焊点的焊接质量进行检查。
- 应对引下线所使用的材料和横截面进行核查。
- 目测引下线的布放（间距小于 18m）和设计安装（30m 以上设置均压带）是否符合技术要求。

- 检查引下线锈损情况。

（注：如果能确认已利用其建筑物的柱钢筋作为雷电流引下线，就不必再专门设立引下线）

5）等电位检查

通信局（站）防雷装置的等电位检测按要求进行。

- 检查通信局（站）楼顶各种金属构件、电缆金属护层等与避雷带之间的连接是否符合要求。
- 检查通信局（站）各层金属管道（包括金属竖井）、电梯滑道、金属槽道、金属铁架等是否按照要求进行接地处理。
- 核查接地线截面积，按照要求检查通信楼均压等电位连接方式。
- 按照要求检查铁塔各构件间连接是否牢固和规范，天馈线的接地是否满足接地要求。
- 应对机房均压等电位的接续点进行电气可靠性检查，并检查铁件的焊接和锈蚀情况是否满足技术要求。
- 应检查接地线出土点是否增设防机械损伤装置。

6）通信局（站）进局电缆雷电防护检测

- 电缆的雷电防护应通过目测和利用工具进行检测。
- 核查进局电缆埋地引入长度是否符合技术要求。
- 核查进局电缆屏蔽接地处理是否符合技术要求。
- 核查接地线的横截面积及安装工艺要求是否符合技术要求。
- 核查通信信号线与其他管线间的距离是否符合技术要求。
- 核查通信信号线与电源线间的距离是否符合技术要求。
- 应对电缆内部空线对接地点及其金属构件接地点的电气连通可靠性定期进行检测。

7）通信局（站）内部雷电过电压防护检测

按照技术要求，核查通信局（站）电源 SPD 的保护模式是否与其供电方式相匹配。

- 核查通信局（站）电源 SPD 的选择、配置和安装要求是否符合技术要求。
- 核查 SPD 接地线线径及接线长度是否符合技术要求，是否做到了引线的电气连接牢固可靠、尽量短直。
- 依据技术要求，按照接线原理，利用混合波对通信局（站）可插拔 SPD 进行限制电压符合性检测。
- 检查通信局（站）模块式电源 SPD 是否具备以下功能，如果具备，检查其功能和品质是否完好。

（1）热熔保护功能。

（2）过流保护功能。

（3）劣化指示。

（4）遥信。

- 检查通信局（站）箱式电源 SPD 是否具备以下功能，如果具备，检查其功能和品质是否完好。

（1）热熔保护功能。

（2）过流保护功能。

（3）灯号告警指示。

（4）遥信。

（5）雷电计数器记录雷电的次数。

（6）面板上各项状态显示。

8）通信设备抗扰度测试

通信设备应具备一定的雷电过电压抗扰度要求，根据需要通过抽测网上运营设备的抗扰度水平，掌握通信局（站）防御雷电的整体综合安全指标。

通信网各类通信设备的抗扰度应满足相关技术指标要求，按照技术条件要求，分别进行信息交换设备通信端口、电源端口抗扰度测试。

3. 气象行业

气象行业标准中明确了电涌保护器的测试方法，需要进行如下测试项目。

- 标志铭牌。
- 电气性能试验。
- 机械性能试验。
- 工作环境要求试验。
- 安全要求试验。
- 特殊 SPD 附加试验。

标准中对每个测试大项中，具体细化了若干个测试小项，根据 SPD 的安装场合及其特性，对测试项目加以限定。

标准中提供了详细的测试方法，对气象行业 SPD 的测试具有指导意义。

4. 公共安全行业

行业标准中明确了防雷保安器的技术要求和测试方法，与气象行业的电涌保护器测试有点类似，测试项目如下。

- 电气要求。
- 机械要求。
- 环境要求。
- 安全要求。
- 外观要求。

其中各项的测试方法是与气象行业有区别的，用不同的测试方法来考察电涌保护器的性能指标。

标准中明确了计算机信息系统的雷电防护要求，设计完成后首先要通过 GB17626.5 规定的室内动态模拟试验，否则要重新进行设计。

计算机信息设备的动态模拟试验等级根据计算机信息系统设备的安装情况选择。

（1）与电源馈线连接的设备，用 8/20μs 电流波形进行测试，电流幅值根据标准中对应的通流冲击容量选择，进行正、负极性各 5 次，间隔 1min 的线—地、线—线的冲击试验，不损坏计算机信息系统内的设备。

（2）与信号传输线连接的设备，以波形 10/700μs 进行测试，试验等级按表 6.2 选择，正、负极性各 5 次，间隔 1min 的线—地、线—线的冲击试验，不损坏计算机信息系统内的设备。

表 6.2　公共安全行业试验等级选取

雷　电　区	设备所处的防护区	试验电压±10%，kV	
		线—地	线—线
中雷区	LPZ_1 区内	2	1
	$LPZ0_A$ 进入 LPZ_1 区	4	2
多雷区和强雷区	LPZ_1 区内	4	2
	$LPZ0_A$ 进入 LPZ_1 区	5	2.5

（3）对雷击大地使地电位上升易被反击的设备，应进行直击雷反击模拟试验，以电压幅值 10kV，波形 1.2/50μs 进行正、负极性各 5 次，间隔 1min 线—地、线—线的冲击试验。

6.2 雷电防护技术

迄今为止，尚无任何设备和方法能够改变自然界的雷暴现象，阻止雷电的发生。若雷电击中建筑物或建筑物附近（或击中连接至建筑物的服务设施），对人、建筑物本身、其内部物体、设备及相关设施都是危险的，因此有必要考虑采取防雷措施。

建筑物和电子设备的理想防雷措施是把被保护对象置于接地良好的、有足够厚度的、良好电气贯通的屏蔽体内，并在连接到建筑物的电子设备进入屏蔽体的入口处，做适当的等电位连接。这种防护措施能避免雷电流的穿透及其电磁场侵入被保护对象，并避免雷电流引起危险的热效应和电动力效应，同时也避免对内部系统构成危险的火花及过电压。

事实上，要提供这种最佳的防护措施通常既不可能而且经济也不合理。根据雷电情况、雷电区域等因素采用不同的雷电防护措施。

传统的防雷标准中按保护角法计算，保护范围大体为一圆锥体，针的高度越高，则圆锥体越大。然而，在实际运行中却大量出现雷击入圆锥体保护区的情况，被称为“侧击”或“绕击”，至于发生侧击或绕击的物理机理却一直没弄明白，在积累了大量雷电观测数据之后，逐渐搞清了雷击电流发生频度分布、雷电电荷的频度分布及雷电放电的机制等，并根据这些数据和结合实验提出了电气几何理论，解释了侧击发生的原因。理论认为：接闪器保护范围因雷电流大小而异，雷电流较大时，其击距（滚球半径）长，当击距大于与某一物体的间距时，雷云先导就会对那一物体放电，并不理会那一物体是否是接闪器。因此新标准采用滚球法进行计算接闪器的保护范围。

6.2.1 直击雷的雷电防护技术

对于直击雷的防护，以接闪器、引下线和接地装置构成的外部防雷装置是迄今唯一有效和广泛应用的直击雷防护装置。现代建筑的框架结构组成一个完整的“法拉第笼”，无需专门再设置接闪器、引下线和接地体，不仅节约了费用，且安全可靠和美观实用。

1. 接闪器

安装设计适当的接闪器，能大大减少雷电流侵入建筑物的概率，接闪器作为雷击的第一设备显得非常重要。

滚球法是目前比较流行的计算接闪器保护范围的方法，是以某一规定半径的假想球，在装有接闪器的建筑物上滚过，滚球被建筑物的接闪器撑起，这时球体的弧与建筑物之间的范围，即由于受建筑物上所安装的接闪器的阻挡而无法触及某些范围，把这些范围认为是接闪器的保护范围。一个设备若在球滚动所形成的曲面范围以下，它受到保护，触及球或穿入其表面的设备得不到保护，滚球法是根据立体几何和平面几何的原理，用图解的方法通过计算而得出的。

根据建筑物被雷击后引起后果的严重程度，把建筑物分为三大类型，分别选择从 30～60m 不同半径的滚球予以计算。两支接闪杆之间的保护范围是按两个滚球在地面上从两侧滚向接闪杆，并与其接触后两球的相交线得出的。

对于高度大于滚球半径 R 的所有建筑物，侧面可能会遭受雷击。侧面上，用滚球法可以接触到的每一点都可能是雷击点。此外，有数据表明，在高层建筑物内，随着与地面高度降低，其遭受侧面雷击的概率显著减小。因而，应考虑高层建筑物的上部安装侧面接闪器系统，仅在建筑上部采用滚球法进行接闪器的定位。

接闪器一般有如下分类或其组成：避雷针、避雷带、避雷网、避雷线和自身接闪器，需满足相关规定。

接闪器的保护范围计算还有其他的一些方法如下。

- 折线法，单只避雷针的保护范围为一折线圆锥体。
- 曲线法，单只避雷针的保护范围为一曲线锥体。
- 直线法，其保护范围是以避雷针的针尖为顶点作一俯角的角度来确定，若有爆炸危险，建筑用 45° 角，一般建筑采用 60° 角，由于用角度确定避雷针的保护范围，实质上为一直线圆锥体，称为直线法，或者称为角度法。

2. 引下线

防雷引下线有如下要求。

- 应有较多数的电流并联路径。
- 电流路径的长度是最短的。
- 应尽量做到引下线是接闪器金属导体的直接延续。
- 引下线间的距离最好是沿周长取等间距，应在靠近建筑物的屋角处布置引下线。
- 引下线应在靠近地面处和垂直每隔 20m 处用环形导体互相连接起来。
- 对于独立的防雷装置，引下线与需要防雷的空间的金属装置之间的距离应算出安全距离。

优先利用建筑物柱内或剪力墙内两条纵向的主钢筋作为引下线。当金属构件作为引下线时，各部件之间应保证良好的电气通路，对于裸露且人易触及的部位应采用绝缘物包裹。引下线可以采用明敷和暗敷两种方式，当明敷时，引下线材料优先选择热镀锌材料，敷设在建筑物的外墙瓷砖或批荡层外；当暗敷时，敷设在建筑物外墙的批荡层内。

3. 接地装置

接地装置是防雷装置中非常重要的一部分，因为它要在不给人员和设备带来损害的前提下，把雷电流泄散入地。在高电流脉冲状态下，接地极的瞬态性是关键，保证较小的接地电阻，使雷电流瞬间泄散入大地。

接地极应与现有埋地电缆和金属管道保持足够的距离，同时允许距离取决于电流脉冲的幅度、土壤电阻率和接地极中电流大小。在任何情况下，如果接地装置是环形接地极，将能够很好地减小冲击接地电阻和常规接地阻抗。

选择合适的接地极类型和埋地深度，可使腐蚀、土壤风化和冰冻的影响降至最小，且保持等效接地阻抗的稳定。

将雷电流泄散入地时，为使任何潜在的过电压降低最小，接地装置的形状和尺寸很重要，一般来说，建议采用较小的接地电阻，建议低频测试接地电阻小于 10Ω

从防雷观点来看，接地装置最好为单一、整体结构，不同材料的接地装置相连，可能会引起严重的腐蚀。常用的接地装置有两种类型：A 型接地装置和 B 型接地装置。

（1）A 型接地装置由水平接地体和垂直接地体组成，每一引下线应至少连接到一独立的接地体上，接地体的总数应不小于两组。A 型接地装置适用于低土壤电阻率地区和小型建筑物。

（2）B 型接地装置可以是位于建筑物外面且总长度至少 80%与土壤接触的环形导体或基础接地体。接地体可以是网状。

混凝土地基中的互联钢筋或其他地下金属结构应优先作为接地极。当混凝土钢筋作为接地极时，应注意小心地进行互联，以避免混凝土出现机械裂纹。

建筑物防雷接地装置应采用单一的共用接地装置，当共用接地装置的接地电阻值不能满足要求时，应增设自然接地装置，如果自然接地装置的接地电阻还达不到要求时，才允许增设人工接地装置。

6.2.2 雷电防护与器件选型

雷电防护对一般电子器件选择的要求是选择宽电压输入范围器件，由于雷电流在泄放的时候会产生一定的热量，会引起器件失效。因此在选择关键器件时，应选择温度范围较宽的器件，以提高系统的稳定性。

在雷电防护设计中，重要的一部分就是浪涌保护器（SPD）的选型设计，根据 SPD 的使用场合和用途分别进行设计。

浪涌保护器接入系统后，不允许改变原系统的性能，不允许影响被防护设备的正常工作，当收到雷电电磁脉冲干扰时，应保证设备导向安全的一侧。根据用途可以分为两大类：电源 SPD 和信号 SPD。

电源防雷保安器冲击通流容量和限制电压一般按表 6.3 选取。

表 6.3　电源防雷保安器冲击通流容量和限制电压表

防护区	交流电源防雷保安器						直流电源防雷保安器	
	户外交流电源馈线引入（引出）处（Ⅰ）		供电设备前（Ⅱ）		计算机电源接口前（Ⅲ）			
	冲击通流容量 kA	限制电压 V	冲击通流容量 kA	限制电压 V	冲击通流容量 kA	限制电压 V	冲击通流容量 kA	限制电压 V
少雷区	≥10	≤1500	≥5	≤1000	≥5	≤500	≥5	≤200
中雷区	≥10	≤1500	≥10	≤1000	≥10	≤500	≥5	≤200
多雷区	≥20	≤1500	≥10	≤1000	≥10	≤500	≥10	≤200
强雷区	≥20	≤1500	≥20	≤1000	≥10	≤500	≥10	≤200
计算机信息系统电源接口前安装的交流防雷器，若并联型电源防雷器限制电压达不到要求时，应采用带滤波器的串联型电源防雷器，电源防雷器的功率大于被保护设备总用电量的 1.2 倍。								
注：“户外交流电源引入（引出）处”，一般指线路跨越 LPZ0 防护区进入 LPZ1 防护区后的计算机接口设备所在建筑物是电源配电柜（架）与外线接口。“供电设备前”，一般指线路进入 LPZ1 防护区，计算机信息系统设备机房低压配电柜（架）后，稳压器或 UPS（不间断电源）设备前。“信号设备电源接口前”，一般指线路进入 LPZ1 防护区，在计算机终端电源插头前。								

一般的 SPD 的选择要求如下。

- SPD 标称导通电压。各类信号线、数据线、计算机网络接口的 SPD 标称导通电压 $U_n \geqslant 1.2U$（U 为工作电压）；
- SPD 用元器件，一般有陶瓷放电管、半导体放电管（SAD）、氧化锌压敏电阻（MOV）、PTC 等元器件组成，在满足信号传输速率及带宽的情况下，尽可能采用半导体放电管；
- 半导体放电管对脉冲电压的响应速度快，可以充分抑制陡峭的雷击电压，用硅半导体放电管，其双向、单向、开关动作均能精确设计出来，一致性较好。

信号 SPD 分为同轴 SPD、信号 SPD、网络 SPD、信号线 SPD。

（1）同轴 SPD 的选择要求如下。

- 同轴 SPD 插入损耗不大于 0.2dB，驻波比不大于 1.2，其最大输入功率满足发射机最大输出功率的要求，接口应具有防水能力；
- 同轴 SPD 的标称放电电流不小于 5kA。

（2）信号 SPD 的选择要求如下。

- 不能对系统的传输造成任何不允许的干扰或中断现象；
- SPD 在瞬态过程后，器件能迅速恢复正常工作；
- 反应速度应高于干扰脉冲的速度；
- 具有显示和遥测功能；
- 在爆炸危险场所，应使用防爆型产品。

（3）信号线 SPD 选择的要求如下。

- 嵌位电压应满足接口的需要，响应时间应在纳秒级；
- 应满足信号传输速率及带宽的要求；

- 标称放电电流不小于 3kA。

在同一电路上级联安装两个以上的浪涌保护器时，应当达到协调配合，根据各个 SPD 的能量吸收能力共同分担施加在它们上面的能量。

雷电流主要的威胁包括三种雷电流形态，如图 6.1 所示。

- 首次短雷击；
- 后续短雷击；
- 长时间雷击。

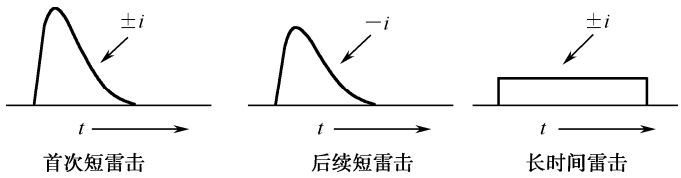


图 6.1　三种雷电流形态

这三种形态全是外加电流，在与下级 SPD 的协调配合中，首次短雷击是具有决定性的因素，后续短雷击能量较低，电流上升陡度很高，长时间雷击是一个附加因素，能量较低可以不予考虑。

直击雷的首次短雷击电流可以用 10/350μs 波形模拟，由于雷电流与低压设备间相互作用，系统中的部分雷电流或感应电流会具有不同的波形。

目前有四种 SPD 防护系统配合方案，前三种采用单端口 SPD，第四种采用集成去耦元件的两端口 SPD。

1. 方案Ⅰ

所选用的 SPD 都有连续的伏安特性及相同的残压 U_{RES}，SPD 和被保护设备之间的配合通常由它们间的线路阻抗来实现，如图 6.2 所示。

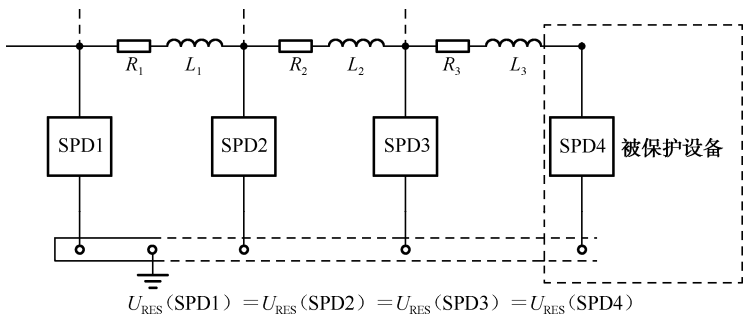


图 6.2　方案Ⅰ的配合原则

2. 方案Ⅱ

所选用的 SPD 都有连续的伏安特性，残压 U_{RES}，从 SPD1 到 SPD3 逐步升高。这是一种用于供电系统的配合方案，如图 6.3 所示。

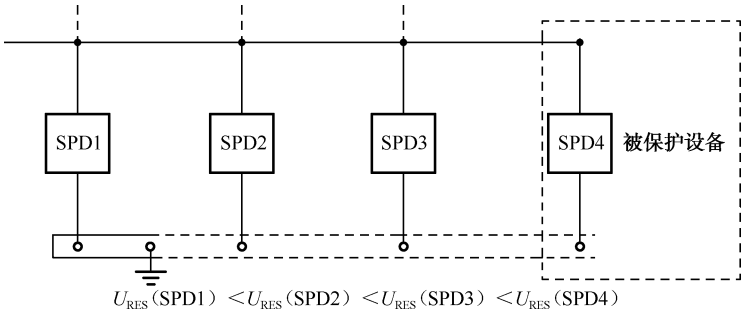


图 6.3　方案Ⅱ的配合原则

3. 方案Ⅲ

SPD1 含有不连续伏安特性的器件（开关型 SPD，如火花间隙），后续的 SPD 具有连续的伏安特性，具有相同的残压 U_{RES}，如图 6.4 所示。

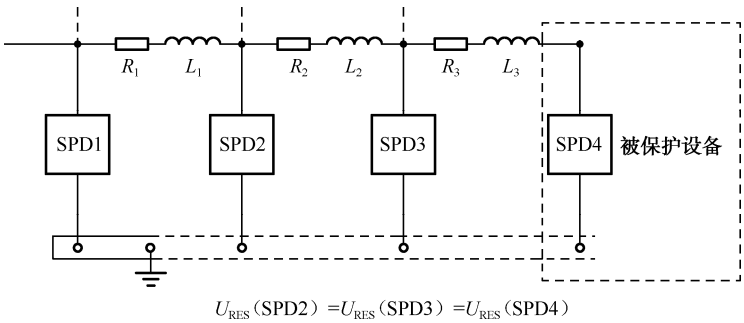


图 6.4　方案Ⅲ的配合原则

4. 方案Ⅳ

用串联阻抗作为内部配合的多个级联的 SPD 组合在一起，构成一个双端口 SPD，内部实施了成功的配合，意味着将向下游的 SPD 或设备传送最小的能量。新组成的 SPD 需要按照前三个方案与其他的 SPD 进行配合，如图 6.5 所示。

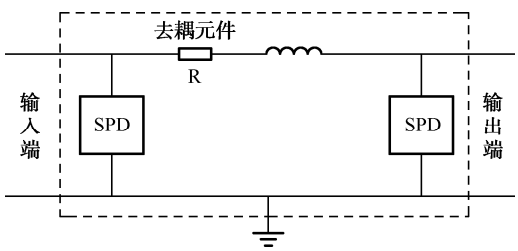


图 6.5　方案Ⅳ的配合原则

图 6.6 为两个限压型 SPD 之间的配合电路图，图 6.7 为开关型和限压型 SPD 之间的配合电路图。

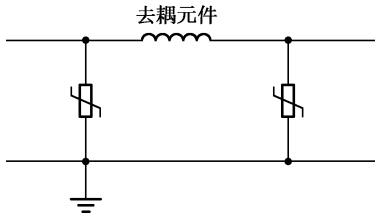


图 6.6　两个限压型 SPD 之间的配合电路图

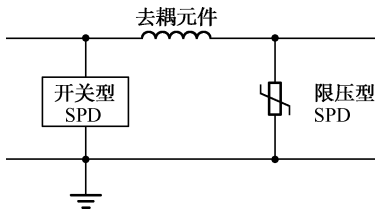


图 6.7　开关型和限压型 SPD 之间的配合电路图

6.2.3　雷电防护与接地技术

不管是直击雷的防护，还是雷电电磁脉冲的防护，都离不开接地系统。接地系统是保证雷电及电磁脉冲可靠泄放的路径，只有按照标准设计合适的接地系统，才能真正起到雷电防护的目的。

接地系统是影响系统稳定、安全、可靠运行的一个重要环节，为了保证系统正常稳定可靠运行，必须有一个接地参考点，接地系统有两种形式：专用接地系统和共用接地系统。

专用接地系统是将工作地、安全地、防雷地相互独立，防止雷击时反击到其他接地系统，且规定了应保持的安全距离。有关规程指出若把工作地与防雷地分离时，其安全距离应相距 15m 以上，优点是可以避免地线之间相互干扰和反击，但在实际难以实施。

共用接地系统是把工作地、安全地、防雷地连接在一起的接地方式，目前 IEC 标准及国标都倾向推荐共用接地系统。当今，建筑物一般为钢筋混凝土结构，为共用接地系统实施创造了条件，一般将建筑物设计成等电位准“法拉第笼”，这样可能会引起地线反击，地线反击与接地系统有着密切关系，接地电阻越小，反击的电压就越低，对电子设备的危害可以被忽略。

通常有四种接地方式：浮地、单点接地、多点接地和混合接地。一般在电子设备中既有高频电路又有低频电路，应采用混合接地的方式。把设备的地线分为两类：电源地和信号地，设备中各部分的电源地线都连接在电源总地线上，所有的信号地线都连接在信号总地线上，两根总线最后在一个公共点进行相连。在信号地中，低频电路可以采用单点接地，高频的电路采用多点接地。

屏蔽电缆由于其抗干扰性能，在电子系统中广泛使用，其接地是要遵守一定原则的。

- 低频信号电缆屏蔽层应采用单点接地，电力电缆和高频电缆至少应在电缆两端接地。
- 信号电缆一般在机壳（柜）的入口处进行接地，避免屏蔽层上的干扰带入设备内部。
- 双层屏蔽电缆可以采用内屏蔽层在信号源端接地，外屏蔽层在负载端接地。

直击雷的接地装置已在 6.2.1 节中进行了介绍，这里重点介绍机房内部的接地系统设计要求。

机房内应设等电位接地连接网络，电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架、金属管、屏蔽线屏蔽层、安全保护接地、浪涌保护器接地均应以最短的距离与等电位接地网络相连。

为了说明雷电防护与接地技术。先简要介绍一下雷电防护区的概念。

雷电防护区的划分是将需要保护和控制雷电电磁脉冲环境的建筑物，从外部到内部划分为不同的雷电防护区（LPZ）。建筑物外部和内部雷电防护区（LPZ）划分示意图如图 6.8 所示。

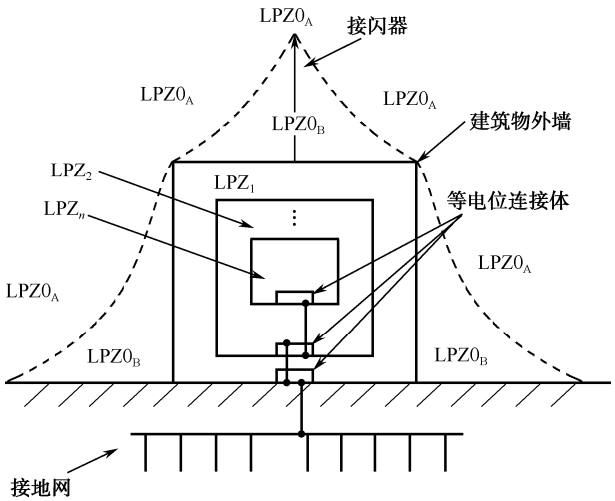


图 6.8　建筑物外部和内部雷电防护区（LPZ）划分示意图

图中雷电防护区的含义如下。

1．$LPZ0_A$。受直接雷击和全部雷电电磁场威胁的区域。该区域的内部系统可能受到全部或部分雷电浪涌电流的影响。

2．$LPZ0_B$。直接雷击的防护区域，但该区域的威胁仍是全部雷电电磁场。该区域的内部系统可能受到部分雷电浪涌电流的影响。

3．LPZ_1。由于分流和边界处 SPD 的作用使浪涌电流受到限制的区域。该区域的空间屏蔽可以衰减雷电电磁场。

4．LPZ_2～LPZ_n。由于分流和边界处附加 SPD 的作用使浪涌电流受到进一步限制的区域。该区域的附加空间屏蔽可以进一步衰减雷电电磁场。

为了避免雷电防护区域内部设备出现危险的电位差，必须使用低阻抗的等电位接地连接网络进行搭接，等电位接地连接网络的结构形式有 S 型星形结构和 M 型网形结构，如图 6.9 所示。

（1）S 型等电位连接应通过唯一的基准点连接至接地网络中，形成单点等电位连接星形结构，内部所有金属部件除在接地基准点进行连接外，设备之间、连接导体之间均应绝缘，设备线缆宜采用星形结构与等电位连接线平行敷设，避免形成大的感应环路。S 型结构适用于相对较小、局部的电子系统。

（2）当采用 M 型结构时，电气和电子信息系统的金属部件（如金属外壳、机架、机柜）不应与共用接地系统各组件绝缘，M 型等电位连接网络应通过多点连接组合到共用接地系统中，形成网状等电位连接的网格形结构，M 型结构适用于延伸较大的开环系统。

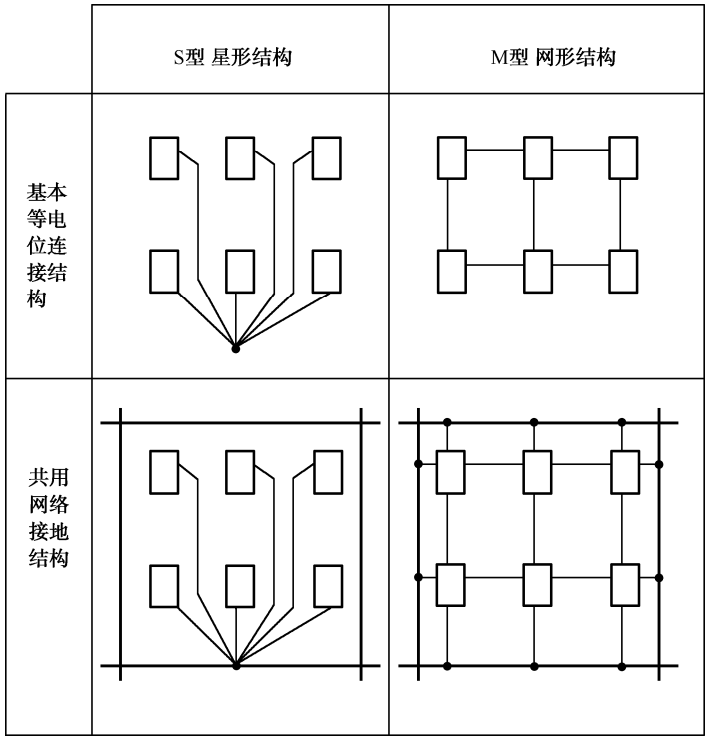


图 6.9　接地系统结构示意图

复杂的电子系统可以采用 S 型和 M 型的组合结构，如图 6.10 所示。

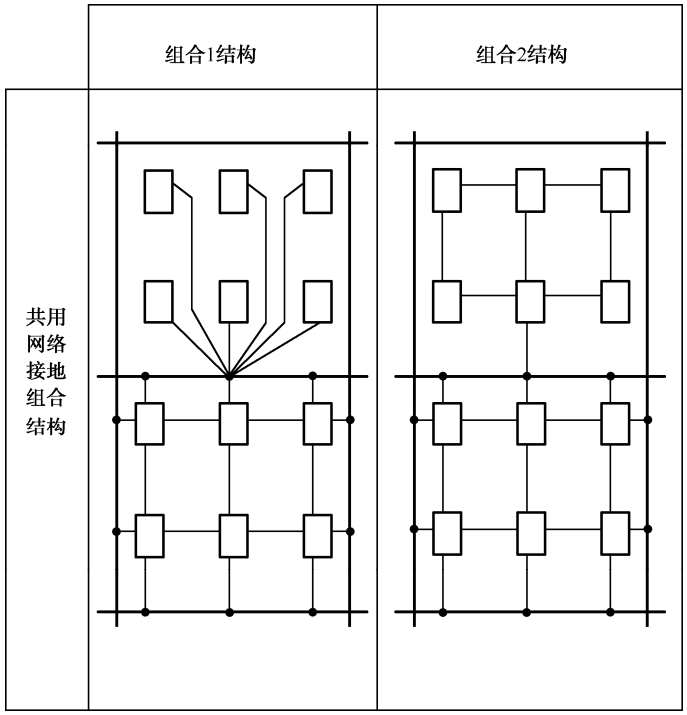


图 6.10　共用网络接地组合结构示意图

在 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 区与 LPZ_1 区交界处应设置总等电位接地端子板；每层楼宜设置楼层等电位接地端子板；电子信息系统设备机房应设置局部等电位接地端子板。各类等电位接地端子板之间的连接导体宜采用多股铜芯导线或铜带，连接导体截面积应能承受设备短路电流、屏蔽体感应电流、SPD 最大泄放电流等的总和且留有一定的裕量，其截面积不应小于 $16mm^2$。各接地端子板应设置在便于安装和检查的位置，不得设置在潮湿或有腐蚀性气体及易受机械损伤的地方。等电位接地端子板的连接点应满足机械强度和电气连续性的要求。

当建筑物的柱、梁、板钢筋结构电气连接不可靠不能作为引下线时，宜另设专用垂直接地线。垂直接地线由总等电位接地端子板引出，同时与建筑物各层钢筋或均压带连通。各楼层设置的接地端子板应与垂直接地线连接。楼层接地端子板通过连接导体与设备机房的局部等电位接地端子板连接。垂直接地线宜采用多股铜芯导线或铜带，其截面积不应小于 $16mm^2$，在竖井内敷设。

建筑物内的电子设备就近连接至等电位连接装置，保证接地可靠，满足接地电阻的要求，当防雷接地、交流电源接地、安全保护地线共用一组地线时，接地电阻必须按接入设备的最小值确定。当多个建筑物共用一组接地装置时，需要至少 2 根水平接地体将各建筑的接地装置相互连通。

电源线路防雷与接地的要求如下。

（1）进出电子系统的电源线不宜采用架空线路。

（2）总配电箱建议采用中性线和保护地线严格分开的接地方式。

浪涌保护器安装位置及接地方式示意图如图 6.11 所示。

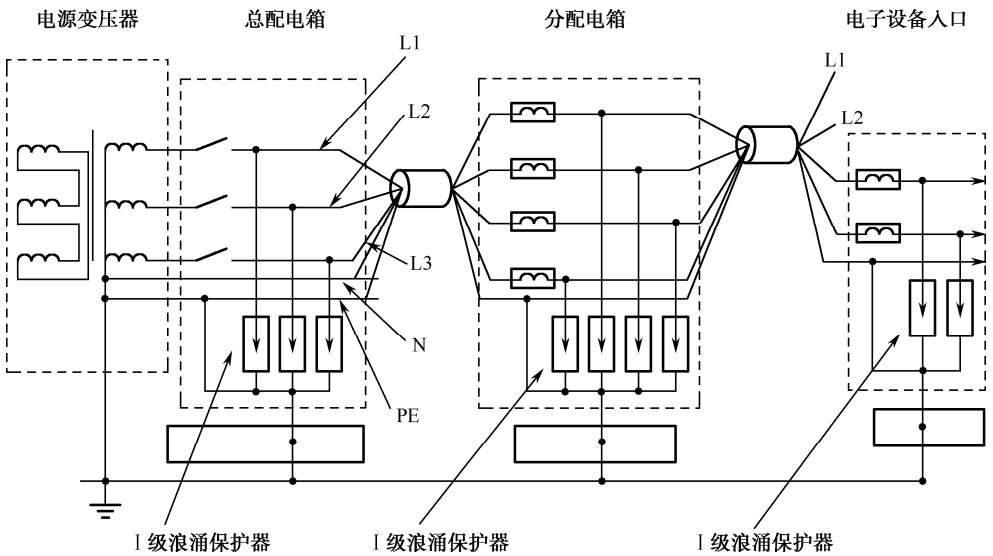


图 6.11　浪涌保护器安装位置及接地方式示意图

进入建筑物的供电线路，在 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 与 LPZ_1 区交界处，在线路的总配电箱（MB）处，应设置Ⅰ级试验的开关型浪涌保护器或Ⅱ级试验的限压型浪涌保护器作为第一级保护。总配电箱处的浪涌保护器的 U_p 值应小于或等于 2.5kV。

架空引入的供电线路宜选择Ⅰ级试验的 SPD；埋地引入的供电线路宜选择Ⅱ级试验的

SPD。在靠近被保护的设备处，LPZ_1 区之后更高级别防护区的交界处，在配电线路分配电箱（SB）、电子设备机房配电箱或插座（SA）上应设置Ⅱ级或Ⅲ级试验的限压型浪涌保护器作为后级保护。后级保护的浪涌保护器的 U_p 值应小于被保护设备的冲击耐受电压 U_w。使用直流电源的信息设备，视其工作电压要求，宜安装适配的直流电源线路浪涌保护器。

浪涌保护器与电源线的连接导线应平直，其长度不宜大于 0.5m。当电压开关型浪涌保护器至限压型浪涌保护器之间的线路长度小于 10m、限压型浪涌保护器之间的线路长度小于 5m 时，在两级浪涌保护器之间应加装退耦装置。当浪涌保护器具有能量自动配合功能时，浪涌保护器之间的线路长度不受限制。

（3）电源线路浪涌保护器在各个位置安装时，SPD 两端连接导线长度应尽量短。

通信信号线路防雷与接地要求如下。

（1）浪涌保护器 SPD 应根据线路的工作频率、传输速率、传输带宽、工作电压、接口形式和特性阻抗等参数选择插入损耗小、分布电容小和纵向平衡、近端串扰指标适配的浪涌保护器。

（2）浪涌保护器 SPD 宜设置在雷电防护区界面处，一般在建筑物入口处和设备端口处设置 SPD，应满足能量配合要求。

（3）通信信号线 SPD 安装时应使导线与连接头的连接线尽量短。在一条信号线路上设置多级 SPD 时，应考虑各级 SPD 之间的配合。末级 SPD 应考虑与信息设备之间的配合。

系统接地要求如下。

（1）系统的接地应采用共用接地系统，其接地线应采用截面不小于 $16mm^2$ 的铜芯绝缘导线穿管敷设，并就近接至等电位接地端子板。

（2）系统的安全保护接地、信号工作地、屏蔽接地、防静电接地和浪涌保护器的接地等均应连接到局部等电位连接网络。

（3）设备通信和信号端口采用等电位连接和电磁屏蔽措施，必要时采用光纤连接。

6.2.4 雷电防护与屏蔽布线技术

屏蔽能够减小电磁场和内部感应浪涌的幅值，内部线路的合理布线可以减小内部感应浪涌的幅值，这两种措施可以有效防止内部系统的永久失效。

防雷屏蔽是用导电或导磁体对设备与空间进行电磁性隔离的，从一侧向另一侧传输的电磁能量由于屏蔽而被抑制，这种抑制效果称为屏蔽效能，用分贝表示。

- 屏蔽分为静电屏蔽、磁场屏蔽、高频磁场屏蔽和电磁场屏蔽。
- 静电屏蔽是为了消除和抑制静电场的干扰。
- 磁场屏蔽是为了消除或抑制由磁场耦合引起的干扰。
- 高频磁场屏蔽是利用涡流原理，涡流越大，屏蔽效果就越好，一般选用良导体材料作为磁屏蔽体，由于涡流的趋肤效应，选用薄金属材料就可以满足要求。
- 电磁场屏蔽，干扰一般是以电场和磁场同时存在的，雷电电磁脉冲干扰应采用电磁场屏蔽。

理想的屏蔽体是没有孔隙的，但是实际的屏蔽中，屏蔽体上不可避免地存在孔洞和缝隙，设备与其他系统连接的线缆要从屏蔽体内部引出，这些孔隙是影响屏蔽效能的主要因素。

为了增加反射损耗，提高屏蔽效能，可以在铁磁性材料表面镀上一层电导率高的非铁磁性

材料，常见的有镀锌钢板、低碳钢板和镀铜钢板。

常见的金属箔材料有铜箔、铝箔和不锈钢箔。常见的金属网材料有紫铜网和黄铜网。导电布也是使用广泛的一种屏蔽材料。

空间屏蔽规定的防护区，可以是整个建筑、部分建筑或者设备机箱，这些区域可以是网状或者连续的金属屏蔽层，也可以是建筑物内部的“自然部件”。

应当在建筑物或系统的规划阶段进行空间屏蔽设计，否则后期改造会带来较大的成本和增加技术难度。内部线缆屏蔽局限于被保护系统的线路和设备，可以采用金属屏蔽电缆，或者是金属设备壳体。合理的内部布线可以减小回路面积，从而减小浪涌的产生，将电缆靠近接地系统布线，可以将感应面积减到最小。进出建筑物的线路应采取屏蔽，效果是非常明显的。采用屏蔽是为了在有干扰的环境下保证系统可靠工作。它包括两部分内容，即减少电缆本身向外辐射的能量和提高电缆抗外来雷电及电磁干扰的能力。

屏蔽布线系统中要保证电缆、连接器、设备等都是屏蔽的，还要保持屏蔽层的连续性。不同的屏蔽电缆会产生不同的屏蔽效果，一般认为金属箔对高频的电磁屏蔽效果为佳，金属编织网对低频的电磁屏蔽效果较好，因此，采用金属箔与金属编织网双层屏蔽的效果更为理想，可以同时抵御外部的高频及低频干扰，同时减少系统对外部的电磁辐射。为了保证良好的屏蔽，电缆的屏蔽层与连接器及设备外壳之间必须采用“360°”环接方式进行连接。

目前在室外设备中常用的电缆是铠装铝护套内屏蔽数字信号电缆，相当于双层屏蔽电缆，铝护套相当于外部屏蔽层，一方面抗碾压、抗鼠害，另一方面可以作为电缆的屏蔽层使用，提高信号的抗干扰能力。内屏蔽层可以有效地保护通信信号。

现代建筑物中含有的金属构件、钢筋等，形成了一个准“法拉第笼”，对外部侵入的雷电电磁脉冲起到初次屏蔽的作用，相关标准中对屏蔽网格的大小做了规定，系统设备应避免设在建筑物的高层，应选择放置在低层中心部位，远离建筑物的外墙结构。

从雷电防护角度来看，在建筑物内的低压电源及信号线都应采用屏蔽电缆，没有屏蔽层的导线应穿过金属管，在分开的建筑物之间的无屏蔽线路应该敷设在金属管道内。杜绝架空敷设方式。

鉴于雷电防护可靠性的考虑，将金属管或电缆外屏蔽层至少两端做接地，金属管内的屏蔽层或双层屏蔽电缆的内屏蔽层单端接地。这样既可以保证安全，又可以兼顾抗低频电磁干扰的要求。实际工程中的应用充分证明了这一点，如某采矿系统，几乎每年都遭遇雷击，在安装了电源及信号 SPD 之后也无济于事，后来采用了在所有的通信传输线路上使用金属管道进行屏蔽，在金属管道的两端及中间若干点做多点接地，经过多年的检验，没有发生一次雷害事故，充分证明了这种接地方式的有效性，对系统进行了可靠的雷电防护。

建筑物内部的电子系统设备应结合建筑物的防雷措施，考虑进行屏蔽，雷电的损害是致命的，是不可恢复的，对关键设备考虑放置在屏蔽室内，结合气压的防雷措施，构成一套完整的保护系统。

6.2.5　雷电防护与隔离技术

雷击到建筑物后，接地系统的电位升高，使所有与它连接的设备外壳带上了高压，升高的外壳电压可能导致绝缘击穿，同时也威胁到操作人员的安全。因此，对大楼进出线加强绝缘、隔离等方法，可以实现防护的目的。

加强绝缘是提高界面处直接承受冲击电压的介质的绝缘水平，使其不被过电压击穿。隔离是在线缆上加隔离变压器，保持设备内外没有电气上的连接，相当于将反击电压转移到隔离变压器的初线圈和机壳之间，保护了设备的安全。

在系统中采取隔离措施，将雷电流阻断在系统之外，同时，为雷电流的泄放提供良好的泄流通道，通过旁路分流的方式使雷电流只能通过我们提供的通道来泄放，不会到处乱串，影响系统工作，从而保证了系统的正常运行。

一般系统中雷电流的传输通道有：交流电源端口、信号线路的传输端口、交流电路转换为直流电路部分、接地网在接受各种途径泄流后对系统可能产生的高压反击。针对以上各种雷电入侵通道，在雷电流进入系统前采用设备之间隔离，交流电源端口与信号线路端口建立了与接地网旁路分流的连接通道，使雷电流只能通过接地网向大地泄放，而不能进入系统内部。通过种种隔离的手段，为系统形成了一个完备的雷电防护屏障。

雷电流主要通过端口传导、高压接地反击来侵入系统，如图 6.12 所示。通过在交流、直流供电和信号线路中安装“交流、直流、信号串联型浪涌保护器”，切断或者隔离浪涌电流的传播通道。针对雷电流侵入系统的各个通道采用隔离与泄流相结合的方式，对系统进行保护，使得雷电流在系统的外部就几乎全部泄放入大地，不会对内部的系统造成影响，从而实现对整个系统的保护。

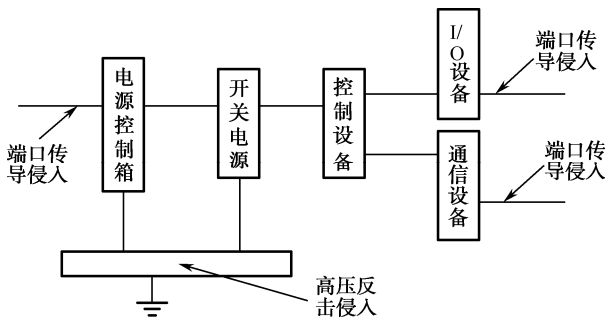


图 6.12　雷电流侵入系统示意图

接地线按功能分为三类，即工作接地线、防雷接地线、保护接地线，同时在工作接地线和保护接地线与联合接地网之间串联“接地系统高频抑制器”，当地网上存在雷电流时，“接地系统高频抑制器”开始工作，将联合接地网与工作接地线、保护接地线之间的连接通道隔离开，使得地网上的雷电流不能通过工作接地线与保护接地线反串进入系统，而只通过防雷接地系统进入系统，有效减小雷电流的高压反击，如图 6.13 所示。

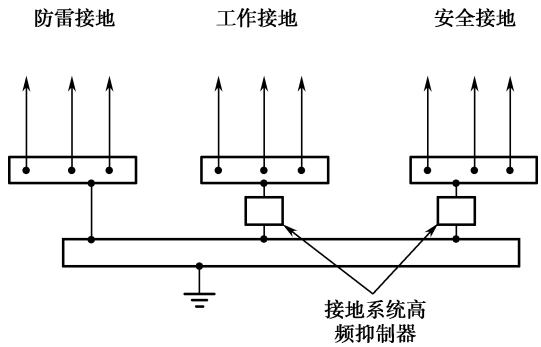


图 6.13　接地系统连接示意图

6.2.6　系统雷电电磁脉冲防护及测试

雷电电磁脉冲主要是指系统通过传导及感应产生的干扰现象，产生大电压及电流浪涌，影响设备的正常工作，根据信号类型、大小等设置浪涌保护器，进行分级防护。

电子设备雷电电磁脉冲安全防护应当采取等电位连接、屏蔽、共用接地、合理布线、改善电子设备环境条件和设置防雷保安器等措施，进行综合防护。电子设备雷电电磁脉冲安全防护应首先按设备所处地区的雷电活动分区、放置的不同位置和系统对雷电电磁脉冲的抗扰度，设置不同的防雷保安器或防雷变压器等防雷设备，实行分级防护。

系统在进行雷电防护设计的时候，需要对保护的设备安装浪涌保护器，一般是在防护信号电路的两端分别安装，起到对两端设备的保护作用，

使用电源浪涌保护器时，电源浪涌保护器一般是并联在电源线上，没有输入输出侧之分，但对于信号浪涌保护器来说是不一样的，一般信号浪涌保护器串联在信号回路中，分“IN”、“OUT”，“IN”为干扰输入侧，“OUT”为设备保护侧，在使用中，严禁反接使用，反接使用对设备起不到保护作用。

产品交付之前，需要通过相关行业的认证，一般是要通过相关测试，才能准予生产销售。雷电测试是测试中不可缺少的一项测试，目前针对不同的产品，采用不同的测试波形，一般的测试波形如表 6.4 所示。

表 6.4　测试波形表

序　　号	波形（μs）	上升时间（μs）	半峰时间（μs）	测 试 端 口
1	8/20	8	20	电源
2	4/300	4	300	电源
3	1.2/50 8/20 组合波	—	—	电源
4	10/700 5/320 组合波	—	—	信号
5	10/700	10	700	信号
6	10/350	10	350	浪涌保护器
7	10/200	10	200	信号
8	10/1000	10	1000	浪涌保护器
9	5/350	5	350	浪涌保护器

以下以铁路行业为例，介绍雷电防护测试。

在铁路行业中，一般对系统的雷电防护测试有两种波形，一种是对系统的输入电源进行测试的波形，4/300μs，横向 5kV，纵向 10kV，分别进行正负 5 次冲击。另一种是系统的通信及信号低压电路进行测试的波形，10/700μs，横向 2kV，纵向 4kV，分别进行正负 5 次冲击。

雷电防护测试的电路设备示意图如图 6.14 和图 6.15 所示。对系统输入输出电源的测试是离线式测试的，如果需要设备带电进行测试，需要使用气体放电管或电容进行隔离。对通信信

号的测试是在线式的，是将信号并接出来进行测试的，若雷电设备输出阻抗对所测信号有影响，采用气体放电管进行隔离。

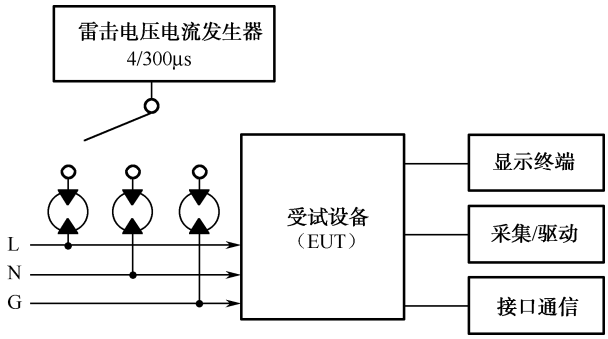


图 6.14　系统电源雷电防护测试电路连接图

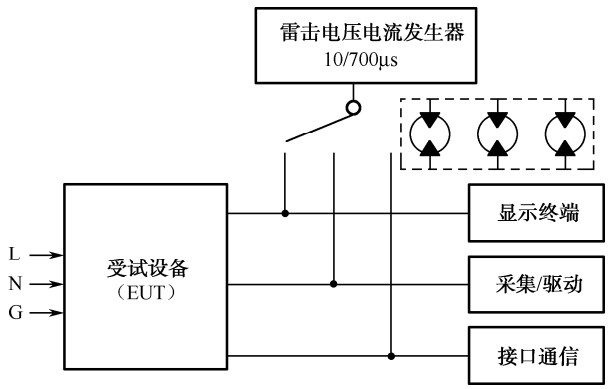


图 6.15　通信及信号雷电防护测试电路连接图

设计不当在测试中就有可能出现如下问题。

（1）被测设备通信暂时异常中断。

（2）显示器闪道、闪屏、黑屏。

（3）被测试设备故障，如器件损坏、系统死机需要人工重启等。

（4）被测设备误动作，如内部继电器误动作等。

（5）被测设备指示灯闪亮。

（6）被测设备功能异常，如出现倒机等。

处理雷电防护问题的一般方法如下。

（1）出现网络短时中断时，可以增加安装交换机处理，交换机的残压比网口高些，目前使用的网络防雷器按照浪涌保护器的测试没有问题，在系统中使用有一定的问题，测试波形是不一样的。

（2）采取隔离措施，如通信增加隔离，电源增加隔离变压器。

（3）根据以往测试经验，选择质量可靠的浪涌保护器，例如，我们在测试中发现，串口、CAN 测试效果最好的防雷器为菲尼克斯公司的 PT3-HF-12DC-ST，通过多个系统的使用，效果明显，顺利通过测试。

（4）雷电防护设计的原则是两端的设备都要加，测试时需要断开辅助测试设备，进行防雷测试，测试中观察设备的运行情况，测试后检查设备功能是否正常。

（5）在测试中，保证系统接地良好，有些测试问题是由于接地不良产生的。

6.3 雷电防护测试实例解析

【实例 6.1】

【现象】

对某系统的输入电源端口进行雷电防护测试的时候，系统报电流超 10%故障，需要人工清除报警，测试的波形为 4/300μs，横向测试电压±5kV，进行正负各 5 次的冲击。

测试布局如图 6.16 所示。

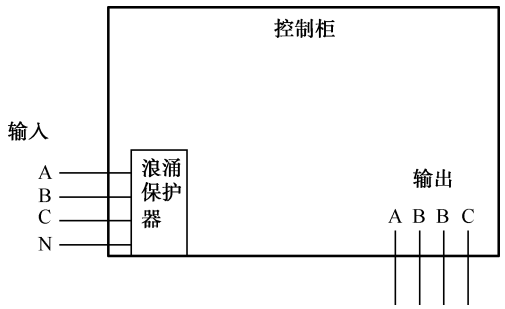


图 6.16　测试设备布局示意图

【分析整改】

1．对现象进行分析，应该是雷电流没有得到可靠泄放，在系统输出回路中进行叠加造成的，系统的电源为三相电源，接法为三相四线制星形接法。

2．对系统的浪涌保护器进行检查，发现系统采用的浪涌保护器只有 ABCN 到 PE 之间的，没有线间的，这样在测试线间时，出现问题。

3．全面的设计应该包含横向及纵向的防护，市场上有成型的组合保护器产品，可以通过测试选择适合自己产品的浪涌保护器。

【总结】

1．在进行电源端口防雷设计时，需要考虑对线地和线间进行综合防护，才能真正起到保护设备的目的。

2．可以在系统内部进行处理，内部增加浪涌抑制器件，对数据进行处理，将数据的波动直接进行滤除，也就是采用所谓的软件滤波方式。

【实例 6.2】

【现象】

某控制箱的通信线进行信号线防雷测试时，出现 SPD 故障，不可恢复，测试的指标横向 2kV，纵向 4kV，分别正负各 5 次，测试波形为 10/700μs。

测试布局如图 6.17 所示。

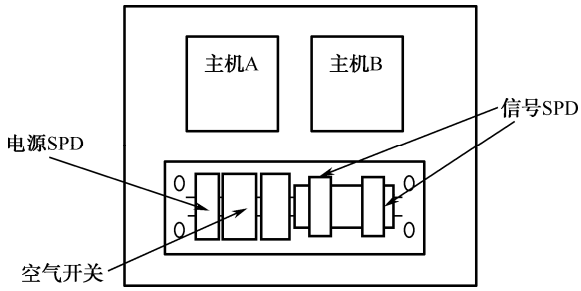


图 6.17　测试设备布局示意图

【分析整改】

1．首先怀疑是防雷器有问题，联系厂家，厂家分析的结果为个体差异，这个结果也是预料之中的。

2．对系统进行摸底测试，对系统的原理进行检查，发现该设备通信其实是转接作用，外部的传感器将通信信号送至设备箱，设备箱中进行防护，再将通信信号送至室内。内部只装有一个防雷器。经证实测试时是对防雷器“OUT”侧进行测试的，这就存在问题，对防雷器输出侧进行测试的测试方法是有问题的，按照雷电防护的设计，设备的输入输出线都需要进行安装浪涌保护器，那么设计是存在缺陷的。

3．对设备内部进行改造，增加对输出信号的防雷，经测试，没有问题。

【总结】

1．系统雷电防护设计需要在设备的两端进行防护，一般雷电感应到线缆上后，会向两端传输，首先会从阻抗小的路径进行泄放。

2．在进行测试时，需要对系统很熟悉，清楚信号防护的方向，不要因为接线错误而引起设备的故障。

3．浪涌保护器设计也遵循了分级泄放的原理，正确使用才能保证其保护能力，颠倒使用及测试存在的风险是很大的。

【实例 6.3】

【现象】

某系统进行通信线雷电防护测试时，通信中断，不可恢复，系统重启后仍然通信中断。

测试标准是波形 10/700μs，横向 2kV，纵向 4kV，分别正负各 5 次。

测试布局如图 6.18 所示。与其他系统的通信线进机柜直接连接在浪涌保护器的输出端，经 422 串口隔离连接在通信主机上。

【分析整改】

1．首先怀疑是浪涌保护器损坏，将通信信号跨过浪涌保护器，通信正常，一定是浪涌保护器内部的损坏。

2．将浪涌保护器拆开，发现一个电阻周围有燃烧的痕迹，这就有可能是电阻的阻值和功率有问题，致使在雷电泄放时，出现损坏，联系厂家搜索资料，发现其是一个 4Ω、10W 的电阻，阻值偏大，一般是零点几欧姆的几十瓦电阻，用来能量配合，协调前后级泄放时间。

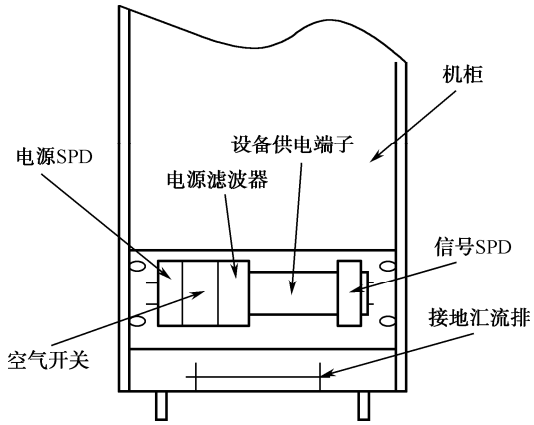


图 6.18　系统设备布置示意图

3．我们在一个新的浪涌保护器上更换了这个电阻，更换为 0.5Ω、20W 的电阻，进行测试，系统出现通信中断，上电重启后，系统工作正常。

4．再次对其原理进行分析，系统的暂时通信故障应该是残压高引起的，残压与后级 TVS 有关，应该将干扰电压嵌位在系统通信要求的范围内，对于 422 通信来说，一般将嵌位电压控制在 10V 左右就可以了，更换为 1 个 12V 的 TVS，经过测试，系统工作正常。

【总结】

1．浪涌保护器内部需要做好能量配合，保证雷电的泄放次序，一旦能量聚集在后级，对浪涌保护器的损坏是致命的。

2．在选择浪涌保护器的时候，一定要选择残压与被保护信号允许过压相当的，在工作正常时，才能起到保护设备信号的作用。

6.4　雷电防护测试整改技巧

针对系统设备在测试时出现的问题，采取适当的措施加以防护，将雷电干扰分级进行泄放，采用屏蔽及隔离技术将干扰拒之门外。

由于直击雷的设计一般是在建设前期已经成型，雷电防护失败对其是致命的，后期整改的成本将是巨大的。鉴于作者工作阅历的局限，这里仅介绍雷电电磁脉冲测试相关的整改措施，说明处理问题的方法，介绍一般的处理措施，帮助尽快解决雷电防护问题。

根据各行业设备的测试波形、器件的响应时间、限制电压、泄放电流等参数进行系统的雷电防护设计。一般的测试波形为 1.2/50μs、8/20μs、10/700μs、4/300μs 等。在电子系统设备的雷电电磁脉冲防护中，一般进行两级设计，第一级在系统的入口处，对输入电源及通信信号安装浪涌保护器，限制电压一般比较高，雷电干扰经过此级防护后，仍可能有高的干扰电压存在，需要在第二级进行防护，一般的第二级防护称为板级防护，也就是在电源及通信信号进入印制板时进行防护，第二级防护就要把干扰电压限制在系统正常工作范围内。两级浪涌保护器需要按照配合方案进行能量配合。

在选择浪涌保护器的时候，一定要选择经过认证的浪涌保护器，因为认证的浪涌保护器经

过测试，可以保证对设备的保护能力，没有认证的浪涌保护器没有保障，如果是由于采用没有认证的浪涌保护器带来的损失将是巨大的。

浪涌保护器在进行认证的时候，会按照国家及各行业标准进行测试，测试通过才能获取认证证书，一般会对器件的嵌位电压及冲击电流进行测试，测试其是否满足要求。

在选择浪涌保护器的时候，需要注意响应时间的问题，一定要保证前级的浪涌保护器先触发，否则一旦后级浪涌保护器触发，可能使后级浪涌保护器及系统设备损坏，后级承受不了那么大的电压及电流。

接地在系统的雷电防护设计中的地位举足轻重，因为雷电电磁脉冲干扰最后都是通过接地系统进行泄放的，接地不良将直接影响系统的雷电防护能力，一般是将工作地线、安全地线、防雷地线统一设置成贯通地线，通过接地系统高频抑制器防止地电位的反击。

屏蔽是将设备放置在一个完整金属屏蔽体中，用来防止屏蔽体外的干扰进入内部，同时降低系统对环境的电磁发射。屏蔽是相对设计成本较高的一种措施，但是其效果还是很明显的，对雷电电磁脉冲防护有很好的效果。

系统布线是一门综合技术，导线被认为是系统的接收和发射天线，系统有相当一部分干扰都是通过线间干扰及传导而来的，合理布线就可以减小线间的干扰，将强电信号与弱电信号分开，高频与低频信号分开布线，将关键信号靠近地线进行铺设。

隔离对干扰的抑制效果也是很明显的，是干扰在系统的输入侧进行泄放，从而减小其对系统的影响。一般采取对系统的输入电源进行隔离，将电源线上的一些谐波、杂散干扰等进行隔离，保证给系统提供一个相对纯净的电源，从而保证系统的正常工作。

系统的雷电防护出现问题时，一般首先需要检查接地系统，测试接地电阻是否满足要求，保证系统真正连接在接地系统中；其次对浪涌保护器进行检查，检查其是否损坏，其接地是否可靠，线缆连接是否可靠，检查接线是否正确，特别是串联型浪涌保护器需要注意接线的方向，方向的反接将使其雷电防护能力大打折扣，对其和设备都是致命的。设备的连线是否出现输入输出交叉，输入输出线的交叉将会产生较大的线间干扰；最后，这些都没有问题时，就需要对设备进行附加的设计。

对问题进行分析，分析原因，把问题明确在线缆及端口处，分析干扰的泄放途径，借助隔离、滤波、屏蔽及布线技术进行整改，一般在系统的电源及信号进行隔离后，就不会再出现问题。

6.5 小结

雷电是一种不可避免的自然现象，但是我们可以采取措施降低和防止因其而带来的损坏，国际上，将雷电防护的标准进行了统一，国内出版了此标准的等同版本，各行业根据各自行业特点，制定相关的雷电防护规范，对于雷电防护的测试也不尽相同。

雷电防护包含两方面的内容，一方面是直击雷的防护，另一方面是雷电电磁脉冲的防护。

直击雷的防护需要考虑三方面的内容：接闪器、引下线、接地装置。工程前期对接闪器的保护范围进行计算，保证对建筑物及信号塔等有效的保护，同时引下线满足相关标准要求，在空间一定距离下设置均压环和等电位连接体，其分布和大小满足规范，接地装置的接地方式及

接地电阻满足相关规范。将三方面有机地结合起来进行设计，才能有效地起到对直击雷的防护目的。

对建筑物的：内部到外部划分雷电保护区，各保护区实施不同的防护方案，进行分级防护，采用不同电压限值和电流的浪涌保护器，各级之间实现配合。

接地是否良好与雷电防护的效果密切相关，由于雷电的泄放都是通过接地系统进行泄放的，良好的接地系统，才能保证雷电的可靠泄放，通过一定的措施，防止地电位反击，防止雷电泄放引起工作地线和安全地线电压抬升，影响设备工作。

屏蔽和合理的布线，可以减少雷电防护问题。屏蔽可以减少雷电电磁脉冲干扰进入建筑物及设备内部，从而起到保护设备的作用；合理的布线可以减少线间的干扰，减少因传导和辐射引起的设备干扰，提高设备的抗干扰能力。采用布线与屏蔽技术，可以达到更好的效果。

隔离是处理雷电电磁脉冲干扰有效的措施之一，可以将干扰与设备进行隔离，提高系统设备的抗干扰能力，对电源一般采用的是安装隔离变压器，对信号及通信采用光电隔离或者磁隔离，将雷电干扰与系统设备进行隔离，从而起到保护系统设备的目的。

系统设备的雷电电磁脉冲防护是将接地、屏蔽、隔离、综合布线等多种技术综合设计，分层分级防护，提高系统整体雷电防护能力，防患于未然。

第7章

常温性能测试

本章主要介绍常温性能测试基础、范围及测试项目，分别从常温性能测试与需求、策略、执行等方面介绍常温性能测试技术。

常温性能测试是指电子产品系统在常温条件下进行的性能测试，一般包括绝缘电阻测试、绝缘耐压测试、故障—安全类测试、设备功能试验、电气指标等设备关键指标的测试。常温性能测试的目的是测试产品与设计功能的符合性及人身安全方面的性能指标。

一般产品在认证测试前都需要进行常温性能测试，常温性能测试指标是产品正常运行的标志，一些测试项目也应用在认证测试中，用于判断产品工作是否正常。

在现场进行验收测试时也需要进行常温性能的测试，用于与用户的设备交接，有些时候常温性能测试也用于科研项目的科技成果鉴定测试，邀请相关的专家共同参与。

常温性能测试与电子产品的用户需求是密切相关的，每项测试都需要符合用户需求，包括隐性的、常规的需求，常温性能测试都是需要满足的。

常温性能测试需要按照一定的策略进行，按照一定的顺序对产品进行测试，从正常功能、故障处理、安全、技术指标等多方面进行测试，确保工作正常。

常温性能测试时，有些测试项目一定要在开始进行测试，有些项目是没有前后之分的，在测试中，需要根据情况进行把握。

本章节将重点介绍常温性能测试的项目与测试策略。

7.1 概述

常温性能测试考察电子产品常温工作情况，测试产品在不同输入条件下的处理方法，从不同方面，展现产品的性能。它广泛应用在产品的设计和运行阶段，通过常温性能测试，了解产品的运行情况和性能指标。

常温性能测试包括一些常规的测试项目，主要从正常功能、故障处理和人身安全方面进行测试。

7.1.1 常温性能测试基础

常温性能测试主要测试电子产品的关键性能指标，一般包括系统正常功能、设备故障时的处理及从人身安全角度进行的测试。



（1）系统的正常功能主要是从用户需求中分解出来的，最大程度地表现了用户的意愿，按照用户的要求进行执行。它不仅包含用户对产品的期望，同样也包含用户操作习惯、用户界面等隐藏在实际工作中的要求。

（2）任何电子产品都可能存在故障的情况，只是故障率大小而已，故障率小的产品其可用性能比较好。不可能实现产品的零故障，但可以通过设计来减少故障的发生。在设计时需要考虑产品内部器件出现故障时，系统该如何处理。产品内部的器件异常都可能使产品出现故障，出现故障后，产品系统应该有内部的处理流程。产品故障不应产生危险的结果，或者是不应影响其他设备的工作，产品故障后应该导向安全侧，进行实时的故障报警，保证准确的故障记录。友好性的产品系统还可以提供故障的处理流程，帮助用户排查故障与解决问题。

（3）人身安全是放在第一位的，任何产品首先要保证操作使用人员的人身安全。人身安全主要是考虑设备是否发生漏电，对人员造成伤害。通过绝缘电阻及绝缘耐压测试可以了解这方面的性能。

7.1.2　常温性能测试范围

常温性能测试广泛应用于产品的现场验收、产品的认证及产品的鉴定中，在测试中，常温性能测试项目可能有所增减，根据现场特殊情况、专家意见等因素进行调整。

产品的验收测试是在产品安装调试完成后进行的，可用于与最终用户的设备交接。验收测试受到现场条件的制约，选择在合理的时间进行。在验收测试中，一般对常温性能测试项目进行裁剪，只进行用户比较关心的性能。

（1）常温性能测试在验收测试中是为了考察产品系统在现场环境下的工作能力，可以与其他相关的系统进行连接，测试系统间的兼容工作情况。

（2）目前，产品的认证用于对产品系统质量的监管与生产的资质审批，在认证测试前和测试中都需要进行常温性能测试，以验证产品系统正常工作。认证测试是在实验室进行的测试，一些测试项目需要根据现场设备进行模拟，达到测试的要求，要保证与现场设备一致，采用相同的线缆和接口模块。每一项认证测试前后需要对产品系统的常温性能进行测试，观察测试中系统的工作状态，用以判断产品系统是否通过测试。

（3）产品鉴定有的是软件的鉴定，有的是针对硬件系统的鉴定，不管是哪一种鉴定，都需要对常温的性能进行测试，只是在进行测试项目的选择上有所侧重，其测试结果作为产品鉴定的依据。

与其他单位共同开发的项目，在进行科技成果鉴定的时候，一般选择在试点进行常温性能的测试，有多个相关专家的参与，由于项目的前期专家已经参与了方案的评审，本次测试只是对方案的验证测试。

7.1.3　常温性能测试项目

常温性能测试一般只进行常规的性能测试，不需要在特定的实验室中进行，是在产品系统的运行现场就可以完成的测试。

常温性能测试一般包括产品系统的正常功能、故障测试、安全测试、关键指标测试、特定要求的测试等。

1）正常功能

产品系统的正常功能是指产品实现做什么及怎样做的过程，以产品用户需求为原则，实现用户要求功能，满足用户使用要求。

一般产品系统的正常功能比较简单，围绕着正常功能进行其他方面的设计比较复杂，如在错误输入数据的条件下，系统能否对错误数据进行处理，保持正常运行的工作状态，也就是所谓的容错设计，容错设计的测试属于故障测试范畴。

产品的正常功能测试还包括用户界面的测试，测试产品的用户界面是否友好，是否符合用户的习惯及对操作的响应情况。

2）故障测试

故障测试是指产品中某个电子元器件或某单元模块出现故障的时候，系统如何处理，能否保证系统中其他单元模块的正常工作，能否导向安全。如系统的 UPS 设计是为了在输入断电时，提供报警及相关信息，无缝切换至 UPS 电池供电，保证系统正常运行一段时间。

设备故障是严禁信号升级的，如一个系统控制通过信号的开放与关闭，在系统故障时，应该关闭信号，如果此时使信号开放，可能造成危险。

再如一个系统控制一个区段的占用与空闲，系统故障时应使区段处于占用状态，否则可能引起撞车事故。

系统产品故障类的要求比较重要，在设计时应进行充分的分析，考虑各种故障情况。设备故障已经影响很大了，如果故障的处理有问题，那更是影响甚远了。

3）安全测试

安全测试主要是考虑操作使用人员的人身安全进行测试，系统外壳的接地就是从这方面进行考虑的设计，设备外壳带电，将严重威胁操作使用人员的人身安全。设备外壳带电的主要原因是产品系统的绝缘性能差，因此通过绝缘测试来考察这些方面的指标。

绝缘测试包括绝缘电阻和绝缘耐压，从不同的角度来考察电子产品的绝缘性能。绝缘电阻是施加一定的直流电压，测试端子与外壳之间的绝缘电阻来表示设备的绝缘性能；绝缘耐压是施加一定的交流或直流电压，测试端子与外壳之间的漏电流来表示系统的绝缘性能。

4）关键指标测试

关键指标测试是指系统内部具体指标要求的测试，如电气指标，测试系统内部各电源模块的输出精度是否满足要求。

采集精度的测试也属于关键指标测试，采集精度一般在产品的技术条件中有相关的要求，采集数据一般是作为进一步的判断处理使用的，其精度的高低直接关系到判断处理的正确与否，精度测试一般按 1/4 量程、1/2 量程、3/4 量程、满量程分别进行测试，测试采集在整个量程范围内能否满足要求。

5）特定要求的测试

特定要求是指系统中规定的特殊要求，如时间类的要求，规定响应时间不应超过多少秒，在常温性能测试中也是需要进行测试的。

7.2 常温性能测试技术

电子产品的常温性能测试与产品的用户需求有密切的联系，一切的测试都来源于需求，常温性能测试依赖于产品的用户需求，是根据用户需求进行测试的。

常温性能测试需要按照一定的策略进行，测试策略是根据用户需求分解出来的步骤与方法，测试策略的最终产物是测试用例。它需要按照测试用例执行，测试每一步操作是否符合预期结果，出现问题时需及时进行记录和确认。

7.2.1 常温性能测试与需求

任何测试都来源于产品及用户需求，产品与用户需求是设计与测试的根本依据。设计是依据需求实现用户的功能，测试是对设计的验证。

常温性能测试需要结合设计和需求来设计测试用例，充分挖掘产品的用户需求，与用户做到有效的沟通，尽可能地得到用户的确认，才能保证设计出来的产品符合用户的需求，否则后期的整改成本将是巨大的，如一个产品，设计人员按照自己的思路进行设计，完成后去进行测试，测试发现认识上出现了严重偏差，现场整改花费了近两个月的时间，耗费了大量的人力。因此需求在整个产品的生命周期中都是非常重要的。

根据产品的需求，设计常温性能测试的测试用例，考虑现场用户的特殊要求，结合用户操作习惯及以用户的角度进行测试。常温性能测试是对用户需求的验证，验证产品系统是否满足用户的需求，是否按照用户的意愿进行执行，是否降低了用户的劳动强度及是否提高用户的效率等。

需求的变更会引起设计的变更，进而会引起测试的变更，因此在前期一定要对需求分析清楚，与用户充分有效地沟通，对需求进行评审，保证需求准确、有效。

产品的设计需要符合需求，脱离需求的设计如何完美，对产品来说是没有用处的，同样脱离了需求的测试也是无效的，测试不是对方法的无限扩大，而是对合理方法路径的充分验证。在测试前，需要对测试方法和用例进行评审，根据评审意见进行完善。

产品测试需要与其他部门及用户进行有效的沟通，保证需求正确，操作使用方法切合实际，明确使用人员的操作习惯和期望，只有便于操作、符合使用人员期望的产品，才能被接受，才能获得使用人的支持，从而产品才能获得良好的发展机遇。

7.2.2 常温性能测试与策略

常温性能测试通过对产品输入条件，观察系统的执行结果是否符合用户要求。输入条件包括正常的输入条件，也包括非正常的。

根据常温性能的测试项目制定测试的顺序，测试顺序考虑了测试活动的延续性及人们的正常思维活动，一般首先进行不通电测试的项目，也就是绝缘测试；其次，产品系统通电进行正常功能的测试，包括关键指标的测试和特定要求的测试；最后进行故障安全的测试。

测试策略可以说是详细测试用例的设计，对每一被测项进行测试的时候，需要考虑各种输入条件，全面设计各种路径，力求对被测项进行全面测试，以判断执行结果的正确性。

测试策略可以依据现场环境的具体情况，设计测试的项目及步骤，达到测试系统功能的目的。

常温性能测试进行的频率比较高，一般考虑测试项目的通用性，既在实验室中可以进行，也可以在现场进行。

常温性能测试策略也是一种测试活动的经验积累，需要借助以往测试经验或其他项目的经验，制定与该产品系统相关的测试方法。

测试策略的输出是测试用例，测试策略是融于测试用例之中的，测试策略设计完成后，就可以开始测试了。

7.2.3 常温性能测试与执行

常温性能测试时，需要按照测试用例认真执行，在一些认为有待于进一步测试的部分可以进行一些探索性测试，充分挖掘设计缺陷。

常温性能测试依据测试用例一步一步进行测试，测试每步的执行结果是否符合设计预期，不允许出现想当然的现象，而忽略某部分的测试。

测试人员需要保持平静的心态，时时保证高度的敏感性，对出现的疑问进行进一步测试，咨询相关人员，直到疑问被消除或者定性为问题为止。

测试需要站立在操作使用者的身份上进行测试，因为使用者是最终的用户，一个产品只有得到使用者的认可和赞同才能称得上好产品，否则产品再怎么被称为功能强大、功能完善，只要对操作使用者来说操作困难，都是无稽之谈，至少不能算得上是好产品。

对于测试出现的问题要及时进行记录，主要记录操作的过程及系统的表现，帮助设计人员再现问题，促进问题的解决。

常温性能测试中，相关的专家可以提一些建议，注意对建议的搜集，对建议进行分析，促进产品系统的改进和完善。

针对产品系统的用户界面，可能有不同的意见，需要在测试中综合所有人的意见，并得到确认，这样有利于设计人员对用户界面的优化。

鉴于常温性能测试的特殊性，一般可以让设计人员参与测试，及时了解专家或用户的意见，对其可行性进行分析，做出确定的答复，提高工作效率。

一般在正式测试前，相关的项目设计人员和测试人员对产品系统已经进行了多次的测试，测试问题已基本暴露出来了，在正式测试时，主要处理测试出现的紧急情况，以及对测试组人员和专家们解释。

当出现紧急异常情况时，要保持平静的心态，从表象迅速定位问题的可能原因，再逐步排查找到确定的原因，给出一个合理的解释，使专家们信服。

所以，测试与设计人员在测试中要保持敏捷的思维，随时准备应对测试中的异常情况。前期的摸底测试很重要，如果前期测试比较充分，那么在正式测试时就可以比较放心。



7.3 常温性能测试技巧

常温性能测试是进行需求符合性的测试，按照一定的顺序和方法步骤进行测试，保证测试执行有效、可靠。

常温性能测试包括通电前后的测试。通电前进行绝缘测试，绝缘测试先进行绝缘电阻测试，后进行绝缘耐压测试。通电后进行正常功能及故障测试。

绝缘测试前需要把浪涌抑制器件拔掉，若某些端口的保护器件无法断开，则不对该端口进行测试。

在故障测试中，线缆的断线、器件的工作异常是比较常见的，对关键线缆和器件进行故障测试，以了解其影响程度和产品的处理过程。

按照用户需求进行测试用例的设计，对测试方法进行合理化的分析评审，一切符合实际情况的方法都可以作为测试用例。

测试执行时，需要保证每一个测试用例都被执行过，任何不满足预期结果的项目都应该被记录，作为测试问题提交给设计人员，必要时进行会议讨论。

测试主要是发现设计的缺陷及存在的问题，重点是暴露产品的问题，对问题的解决可以提一些合理的建议。测试中可以进行一些探索性测试，进行多种条件的组合测试，发现产品设计中隐藏的缺陷，促进产品的改进。

测试中需要保持对测试现象的敏感性，一种表象可能隐藏了设计不合理的处理过程。对系统表象的关注，利于发现设计中的问题。

7.4 小结

常温性能测试是比较常见的一项测试，通过测试来实现不同的目的，一般产品的验收测试、认证测试和鉴定测试中都会进行常温性能测试。

常温性能测试主要进行安全类、功能类和故障类的测试，全面了解产品的性能，验证产品与用户需求的符合情况。

测试项目是根据用户需求分析出来的，设计各种合理输入路径，测试产品的执行结果是否符合设计预期，挖掘产品的隐性需求，才能对产品进行尽可能的全面测试。

测试按照一定的策略进行，测试策略是测试的方法和步骤，其最终形成测试用例，是测试执行的依据。

测试执行过程需要保证每一测试用例被执行，任何不符合预期结果的现象被记录，综合专家们的意见和建议，促进产品的优化。

第 8 章

软件测试技术

本章主要介绍软件测试的基本概念、软件测试遵守的原则、软件测试模型和软件测试方法等方面的知识，使读者对软件测试有一个整体的认识。

软件测试的目的是为了发现更多的软件故障和评估软件的质量，测试软件是否满足用户需求，发现软件设计缺陷，促进软件功能的完善。有些人对测试的认识存在一些误区，因此这就需要理解相关的概念，真正认识测试。

软件测试需要遵守一定的原则，在原则的指导下进行测试。

软件测试按照不同分类可以分为多种类型，在测试中，对不同类型的测试取长补短，共同实现测试的最终目标。

常见的软件测试模型有“V”、“W”、“X”、“H”模型，本章将分别对它们进行说明。在测试中，需要运用各模型的优点，更好地完成测试目标。

软件测试方法可以分为白盒测试、黑盒测试和灰盒测试，分别运用在不同的阶段，参与不同的测试。

软件测试需要按照一定的测试策略进行，提高开发的效率。

本章节将重点介绍软件测试模型与软件测试方法。

8.1 软件测试概述

软件测试是在软件发布前对软件的最终复审，是软件质量保证的关键步骤，若忽略产品测试，开发出来的产品可能会出现很多问题，很多产品在使用中产生诸多的问题，其原因是多方面的，最重要的原因就是软件开发的管理水平不高，忽视了对软件产品进行必要和充分的测试。

为了更好地进行软件测试，需要正确地认识软件测试，了解软件测试的基本原则，按照其要求指导整个测试活动。

软件测试可以根据不同的分类原则进行不同的分类，每种类型之间有联系，每种测试都是为了发现设计缺陷，提高软件的质量。

8.1.1 软件测试的概念

软件测试的定义为使用人工和自动手段来运行或测试某个系统的过程，其目的在于检验测



试系统是否满足规定的需求或弄清预期结果与实际结果之间的差别。假如系统无法使用，或者系统不能完成客户的需求和期望，产品的存在是没有任何意义的。

软件测试的概念，广义上讲，是指软件产品生存周期内所有的检查、评审和确认活动；狭义上讲，是对软件产品质量的检验和评价。它一方面检查软件产品质量中存在的质量问题，另一方面也是对产品质量进行客观的评价。软件测试是保证软件质量和可靠性的手段，其根本任务是尽可能多地发现软件中的错误。

软件测试是为了证明程序有错误，而不是证明程序无错误。即测试的工作就是发现缺陷，为了找到那些不能正常工作、不一致的问题，这些缺陷不仅仅是程序中的错误，还包括需求分析、设计等方面的缺陷。

软件缺陷（Software Bug）的具体含义：软件未达到客户需求的功能和性能；软件超出了客户需求的范围；软件中出现了客户需求不能容忍的错误；软件的使用未能符合客户的习惯和工作环境。软件测试是假定存在软件缺陷，想通过检测来发现尽可能多的软件缺陷的过程。

软件测试基于下面 3 个理念：测试是为了发现软件中的缺陷而执行软件的过程；好的测试方案是尽可能发现迄今为止尚未发现的缺陷的测试方案；成功的测试是发现了迄今为止尚未发现的缺陷。

通常人们对测试存在一些误解，有些人认为测试等同于调试，他们认为如果在调试上多花些时间，则测试是完全没有必要的。这是一种极其错误的想法。此种错误的根源在于没有对测试和调试的基本概念搞清楚。调试是指程序员在开发过程中对自己书写的程序进行正误的判断，看自己的代码是否能够按照架构文档描述正常工作。而测试的工作则是看得到的代码或软件是否按照需求文档工作，这具体包括：各个功能是否得到了有效的实现，最终得到的软件的整体性效果如何。软件在一定的压力条件下（比如：内存相对不足）是否能正常工作，输入错误信息得到什么样的回馈，系统在长时间工作的条件下是否还能正常运行等。对这些概念理解清楚了，自然就能够正确区分测试和调试的差别。当然测试和调试有一些内容存在交汇点。

有些人认为测试是在软件开发完成后进行一次总体的检查，其开始时间是在软件开发完成以后，再致力于软件的测试工作。其实则不然，软件的测试工作应该开始于项目的立项阶段，在产品的需求分析过程中应当有测试人员介入，这样使得测试人员对此系统具体要完成哪些工作做到心中有数。测试不只是看程序员写的程序是否能够正常工作，更重要的是看其是否满足用户需求，以及在各种条件下的满足程度。

测试应该尽早介入，当程序员完成部分工作，则测试人员就应该根据测试文档书写测试程序，对得到的现有完成部分进行测试。这样一旦发现问题，就及时提交给相关人员进行修改，通过这一过程，能使问题在最早的时间段内得到解决，同时也使损失尽可能地降到最低。软件的开发就是这样相互叠加式的前进过程。

8.1.2　软件测试的原则

软件测试的目的决定了如何去组织测试。如果测试的目的是为了尽可能多地找出错误，那么测试就应该直接针对软件比较复杂的部分或是以前出错比较多的位置。如果测试目的是为了给最终用户提供具有一定可信度的质量评价，那么测试就应该直接针对在实际应用中经常用到的商业假设。最终的测试目的都是为了保证软件的质量。

软件测试要按照一定的原则进行，对测试进行真正的认识，对产品进行有效的全面的测试，发现尽可能多的软件设计缺陷。

常见的测试原则如下。

（1）测试显示缺陷的存在。测试可以显示缺陷的存在，但不能证明系统不存在缺陷。测试可以减少软件中存在未被发现缺陷的可能性，但即使测试没有发现任何缺陷，也不能证明软件或系统是完全正确的。

（2）穷尽测试是不可能的。穷尽测试是不可能完成的，也是不符合实际情况的，在实际测试中只能进行尽可能全面的测试。通过运用风险分析和不同系统功能的测试优先级，确定测试的关注点，从而替代穷尽测试。

（3）测试尽早介入。测试应该在产品的需求分析阶段介入，了解全面的用户需求，对产品设计过程中的各个阶段的质量控制，加快产品开发进程。

（4）缺陷集群性。测试所发现的大部分缺陷和软件运行失效是由于少数软件模块引起的。模块之间的集成测试显得尤为重要。

（5）测试用例需要调整和完善。测试用例需要进行定期评审和修改，同时需要不断增加新的不同测试用例来测试软件或系统的不同部分，从而发现潜在的更多的缺陷。

（6）测试活动依赖于测试背景。测试背景也就是测试对象、软件版本，任何脱离测试背景的测试都是没有意义的。

（7）不存在缺陷的谬论。任何软件都是可能存在缺陷的，不可能是完美的，只是软件缺陷没有被及时发现，触发的条件没有达到而已。

（8）足够好原则。这是一个权衡投入/产出比的原则。测试即不要不充分，也不要过分。不充分和过分都是一种不负责任的表现。零问题是一种理想，足够好是采取的原则。

（9）所有测试都应追溯到用户需求。软件测试的目的在于揭示错误，而最严重的错误（从用户角度看）是哪些导致程序无法满足需求的错误。

（10）设计测试用例。设计测试用例时，要给出测试的预期结果。一个测试用例必须由两部分组成：对程序输入数据的描述和由这些输入数据所产生的程序正确结果的精确描述。

（11）设计非法输入的测试用例。一个软件产品，不仅当输入是合法的时候能正确运行，而且当有非法输入（有意的或无意的）时，还能够拒绝接受那些非法输入并给出提示信息。因此，要特别注意设计非法输入的测试用例来进行测试。

合理与不合理的输入都应该包含在测试用例中，正常和不正常的操作都应该被测试。

（12）应对每个测试结果做好全面检查。测试需要保证对每项测试用例的执行。

（13）以用户的角度进行测试。以使用者的身份进行测试，代表最终用户的要求，利于发现软件的设计缺陷。

8.1.3 软件测试的分类

软件测试按照不同的分类方法可以分为不同的类，一般情况下，按照测试对象的不同可以分为静态测试和动态测试；按照设计开发所处的不同阶段，可以将软件测试分为单元测试、集成测试、确认测试和系统测试；按照测试参与对象和借助的工具，可以分为人工测试、自动化测试；按照软件的性能可以分为功能测试、极限测试、容错测试、压力测试、

软件可靠性测试和时间测试等。测试的目的是一致的。在不同类型的分类中可能进行相同的测试。

下面着重介绍几种重要的测试类别。

1. 静态测试与动态测试

静态测试（Static Test）包括代码检查、静态结构分析等，是指对软件文档或程序进行扫描分析，无需运行程序，与环境无关。人工或借助专用的软件测试工具评审软件文档或程序，度量程序静态复杂度，检查软件是否符合编程标准，借以发现编写的程序的不足之处。

动态测试（Dynamic Test）是指选择适当的测试用例，实际运行被测代码，观察代码运行时所体现的功能、逻辑、行为、结构等，检查运行结果与预期结果的差异，并分析运行效率和健壮性等性能。

2. 单元测试和集成测试

单元测试和集成测试是软件测试的两个阶段。单元测试又称模块测试，是指依据用户需求和详细设计对每一个功能相对独立的程序单元模块进行测试，多个模块可以平行的独立进行单元测试。

集成测试是指在单元测试的基础上，将模块按照设计要求组装起来进行测试，主要测试内容有程序模块间的接口参数传递、集成后的功能实现及模块间的相互影响等。软件的开发可以分为多个的集成，可以将关系比较密切的模块先进行集成，最终再进行全部模块的集成，将软件与计算机硬件、外设、某些支持软件、数据和人员等元素结合在一起，对整个系统进行测试。

单元测试是在软件开发过程中最初进行的测试活动，是在单元设计完成后进行的测试。单元测试是通过采用白盒测试方法进行的，使得单元内部的程序错误能够尽可能地发现。单元测试关注程序的内部逻辑，检查每一步的执行数据是否符合预期。

集成测试是对系统的接口及集成后的功能进行正确性检验的测试工作。集成测试通常采用灰盒测试。集成测试要求每增加一个新的单元，必须对新增的单元和已存在的单元之间的接口进行验证。集成测试的优点是：可以并行调试所有模块，需要的测试用例数目少，测试方法简单、易行。它也有一定的缺点：不能很好地对全局数据结构进行测试，需要后续的测试来进行补充测试。

3. 确认测试与系统测试

确认测试是指检查产品是否满足用户需求，或者说是否具备在真实环境中使用的条件。确认测试类似于验收测试，这个阶段主要是检查程序所有的功能是否实现。

系统测试是指对完整集成后的产品和解决方案进行测试，用来评价系统对具体需求规格说明的正常功能和非正常功能的符合性测试。系统测试的目的就是发现产品设计缺陷；产品对故障的处理是否满足要求；综合现场多方面因素，测试产品是否满足用户需要。

系统测试一般要完成以下几种测试：功能测试、性能测试、稳定可靠性测试、兼容性测试、容错性测试、安全性测试、强度测试、面向用户支持方面的测试、其他限制条件的测试。

1）功能测试

功能测试是指对用户需求中规定的所有功能进行测试，还包括用户的隐性需求，以及用户的异常操作下系统的响应。

2）性能测试

性能测试一般需进行：有时间精度要求的测试；测试实际运行与记录的符合性；测试程序运行所占用的空间；测试对系统的负载能力；测试各模块单元之间的协调性；测试软件性能和硬件性能的集成；测试系统对并发事务和并发用户访问的处理能力。

3）稳定可靠性测试

稳定可靠性测试是指系统在长期连续工作的情况下，能否满足用户需求的能力，是否工作正常，功能是否满足要求。

4）兼容性测试

兼容性测试是指系统模块之间及与其他系统之间的配合情况，主要测试系统能否在实际环境中正常工作，是否影响其他系统的工作。

5）容错性测试

容错性测试则是我们不像设计者预期的那样给定的系统值，观察测试结果会怎么样，通过系统表现测试系统界面是否友好，更不希望当接收错误信息时系统会崩溃掉。

6）安全性测试

一般的安全性测试是指对系统的操作有不同的权限及使用不同的用户进行不同的操作，防止非许可人员操作使用。需要对非法用户的登录和密码的多次错误进行验证测试。

7）压力测试

压力测试是指模拟巨大的工作负荷以查看或评估应用程序在峰值或超越最大负载使用情况下如何执行操作。压力测试有如下特点：可以测试系统的稳定性；一般需要对用户的使用情况进行模拟。压力测试的方法包括：并发测试法、增加量级法、重复测试法。

4. 软件可靠性测试

软件可靠性是在规定的时间和环境条件下，软件正确运行的概率，这里的环境一般是指用户的使用环境，可以在设计阶段根据软件测试的结果对可靠性进行估计。

软件可靠性需要考虑的方面包括：遗留的缺陷情况、软件的平均无故障时间、软件的风险等。目前根据软件的开发过程、软件质量的控制过程、软件测试的结果等，已有许多种计算方法。

5. 人工测试与自动化测试

1）人工测试

人工测试是由测试人员手工逐步执行所有的活动，并观察每一步是否成功完成。人工测试是任何测试活动的一部分，在开发初始阶段软件及其用户接口还未足够稳定时尤其有效，因为这时自动化并不能发挥显著作用。即使在开发周期很短及自动化测试驱动的开发过程中，人工测试技术依然具有重要的作用。

传统的人工测试技术一般是指程序的静态代码检查，通过成立一个评测专家组，通过专家组成员阅读程序发现软件缺陷。它是对软件泛泛的测试，通过阅读程序和设计要求，对软件进行测试，大量的工程实践表明，对发现软件缺陷来说，这是一个非常行之有效的方法。但需要



花费大量的人力。

近些年来，随着人们对软件缺陷认识的不断深入，发现有些软件缺陷是更重要的，一旦这些缺陷发生，可能造成系统的崩溃，对这类缺陷进行单独的人工检查是非常必要的。

2）自动化测试

自动化测试是希望能够通过自动化测试工具或其他手段，按照测试工程师的预定计划进行自动测试，目的是减轻人工测试的劳动量，达到提高软件质量的目的。

软件测试的自动化贯穿于整个软件测试之中。软件测试的自动化不仅可以节省软件测试的时间，提高软件测试的效率，而且也使得测试更容易发现软件缺陷。测试技术的自动化是近几年来软件测试技术研究的热点之一。

完全自动的软件测试效果并不十分理想，但许多测试在人工辅助下完成可能会起到更好的测试效果。

8.1.4　软件测试的判定

软件测试问题的级别一般分为五级，各级别定义如下。

1. 级别 A-Crash

级别 A 的测试问题是非常严重的问题，由于程序所引起的死机，非法退出；死循环；数据库发生死锁；因错误操作导致的程序中断；功能错误；与数据库连接错误；数据通信错误；对于可能危害到行车安全的故障。

常见的 A 类测试问题如：功能设计与需求严重不符、由于正常操作导致用户数据丢失或破坏、严重的数值计算错误、主要功能无法实现或遗漏、无法正常安装；安装后文件不全、文件错误造成主要功能无法实现、按照文档描述进行升级却升级失败、模块无法启动或异常退出。

2. 级别 B-Major

级别 B 是严重的问题，定义为程序错误；程序接口错误；数据库的表、业务规则、默认值未加完整性等约束条件等。

常见的 B 类测试问题如下。

（1）主要功能不能按正常操作实现，但可通过其他方法实现；主要功能部分丧失或严重缺陷（如数据不能保存等），系统的次要功能无法实现或遗漏，系统所提供的功能或服务受到明显的影响。

（2）由于软件原因使系统不稳定、不安全、或破坏数据、或产生错误结果，而且是常规操作中经常发生或非常规操作中不可避免的主要问题。

（3）由于程序原因导致服务器端的进程资源不能释放，内存使用错误。如内存泄漏、内存溢出、数组越界等。

（4）安全性问题——根据相关规定需加密存放的资料而未加密存放导致安全性隐患的存在。

（5）业务流程、数据流程错误。

（6）性能指标未实现。

（7）程序抛出异常，信息没有处理。如空指针、通信异常等。

（8）一些边界条件下操作会导致 run-time error、文件操作异常。

（9）错误的波及面广，影响到其他重要功能正常实现。

（10）安装后文件不全、文件错误造成次要功能无法实现。

（11）C/S、B/S 模式下，利用客户端正常操作可造成服务端不能继续正常工作的。

（12）系统兼容性差，与需求文档中已定义的其他支持系统一起工作时出错，而没有充分理由说明是由支持系统引起的。

（13）由于正常操作导致测试无法进行的错误。

3. 级别 C-Minor

级别 C 是一般性的错误问题，定义为操作界面错误（包括数据窗口内列名定义、含义是否一致）；打印内容、格式错误；简单的输入限制未放在前台进行控制；删除操作未给出提示；数据库表中有过多的空字段。

常见的 C 类测试问题如：次要功能存在部分问题；次要功能不能正常实现；次要功能没有完全实现但不影响正常使用、模块功能部分失效、产生错误的中间结果但不影响最终结果等影响有限的问题和功能有错误，但不影响功能使用、系统边界错误、数据处理、需求理解错误、硬件或通信异常发生恢复后，根据操作手册或其他安装维护文档说明仍不能恢复。

4. 级别 D-Tricial

级别 D 是较小错误的问题，定义为界面不规范；辅助说明描述不清楚；输入输出不规范；长操作未给用户提示；提示窗口文字未采用行业术语；可输入区域和只读区域没有明显的区分标志。

常见的 D 类测试问题如下。

（1）界面存在明显缺陷，用户界面错误——提示信息误导用户、界面文字描述和控件摆放不正确等问题。

（2）辅助说明描述不清楚，与程序限制明显不符。

（3）显示格式不规范、查询报告格式错误。

（4）非常用操作组合导致页面出错，错误程度较轻且影响范围不广的情况（如有多种操作步骤时，仅有一种或几种操作组合导致错误发生）。

（5）在非推荐浏览器中操作，页面上出现功能性错误，但不影响后续操作及系统功能。

5. 级别 E-Nice to Have

级别 E 是对问题提出人对测试对象的改进意见或测试人员提出的建议、质疑，一般为建设性的意见或建议。

常见的 E 类测试问题如下。

（1）人机交互不友好——操作不方便，不符合操作习惯；光标跳转设置不好，鼠标（光标）定位错误；界面友好性、可学习性（各种提示信息、联机帮助）较差，设计不友好、不完善。

（2）可以提高产品质量的建议。

（3）操作不方便，但不影响功能的操作和执行。

（4）在功能实现方式上如果需求中没有明确定义，而没有按常规（如业界常规）实现，且不比常规方式实现优越的（如限制用户名第一位用数字或特殊字符）。

8.2 软件测试技术

8.2.1 软件测试与测试模型

软件测试是与软件开发紧密相关的一系列有计划的系统性的活动，软件测试需要根据测试模型去指导实践，软件测试过程依赖于测试模型，常见的软件测试模型有“V”模型、“W”模型、“X”模型、“H”模型。以下将分别进行介绍。

1. “V”模型

在软件测试方面，“V”模型是最广为人知的模型，已存在了很长时间，和瀑布开发模型有着一些共同的特性，由此也和瀑布模型一样，受到了批评和质疑。

在传统的开发模型中，比如瀑布模型，通常把测试过程作为在需求分析、概要设计、详细设计和编码全部完成之后的一个阶段，这样的测试工作会花费相当长的时间，可能出现反复设计和测试的情况。

人们认为测试是产品设计的一个收尾工作，而不是主要过程。“V”模型的推出就是对此种认识的改进。“V”模型是软件开发瀑布模型的变种，它反映了测试活动与设计的关系。

如图 8.1 所示，图中的箭头代表了时间方向，左边下降的是开发过程各阶段，与此相对应的是右边上升的部分，即各测试过程的各个阶段。“V”模型中的过程从左到右，描述了基本的开发过程和测试过程。

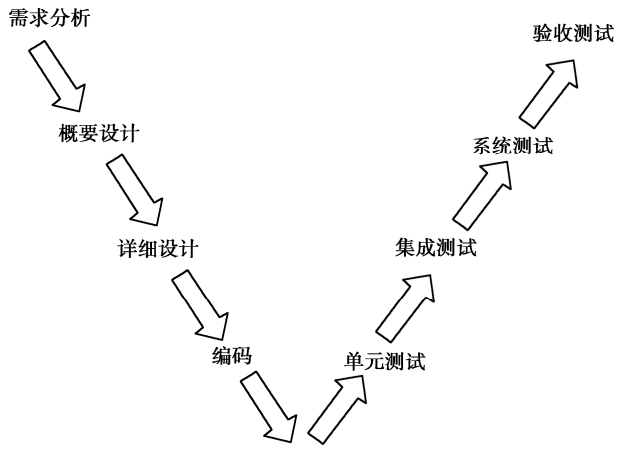


图 8.1 “V”模型示意图

“V”模型指出，单元和集成测试是验证程序设计，开发人员和测试组应检测程序的执行

是否满足软件设计的要求；系统测试应当验证系统设计，检测系统功能、性能的质量特性是否达到系统设计的指标；由测试人员和用户进行软件的确认测试和验收测试，追溯软件需求说明书进行测试，确定软件的实现是否满足用户需求或合同的要求。

“V”模型的价值在于它非常明确地标明了测试过程中存在的不同级别，并且清楚地描述了这些测试阶段和开发过程期间各阶段的对应关系。

“V”模型的局限性：把测试作为编码之后的最后一个活动，需求分析等前期产生的错误直到后期的验收测试才能发现。

2. “W”模型

相对于“V”模型，“W”模型更科学。“W”模型是“V”模型的发展，测试与开发过程是同步进行的，从而有利于尽早地发现问题，而且测试的对象不仅仅是程序，需求、功能和设计都要进行测试。

根据“W”模型的要求，一旦有文档提供，就要及时确定测试对象，以及编写测试用例。当需求被提交后，就需要确定高级别的测试用例来测试这些需求。当概要设计编写完成后，就需要进行测试来查找该阶段的设计缺陷。

如图 8.2 所示，“W”模型强调测试伴随着整个软件开发周期，只要相应地开发活动完成，我们就可以开始执行测试，以需求为例，需求分析一完成，就可以对需求进行测试，而不是等到最后才进行针对需求的验收测试。

“W”模型也有局限性。“W”模型和“V”模型都把软件的开发视为需求、设计、编码等一系列串行的活动，无法支持迭代、自发性及变更调整。

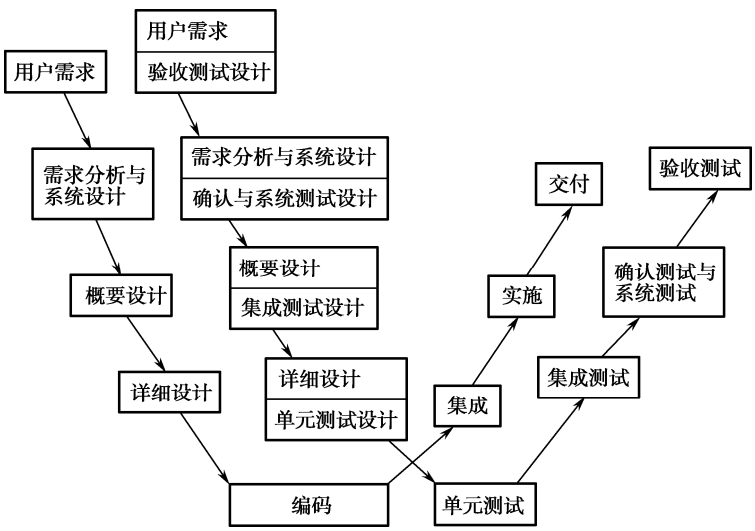


图 8.2 “W”模型示意图

3. “X”模型

“X”模型为了弥补“V”模型的一些缺陷，如图 8.3 所示。

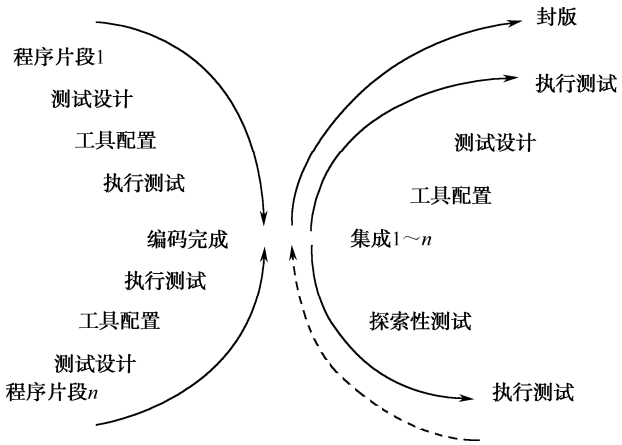


图 8.3 “X”模型示意图

“X”模型的左边描述的是针对每一个程序片段所进行的相互分离的编码和测试，此后将进行频繁的交接，通过集成最终成为可执行的程序，然后再对这些可执行程序进行测试。已通过集成测试的成品可以进行封版并提交给用户，也可以作为更大规模和范围内集成的一部分。

多根并行的曲线表示变更可以在各个部分发生。由图 8.3 可见，“X”模型包含探索性测试，这是不进行事先计划的特殊类型的测试，通过探索性的测试，往往可以发现更多的软件错误。但可能花费较大的人力、物力和财力，对测试员的熟练程度要求比较高。

4. “H”模型

“H”模型中，软件测试过程活动完全独立，贯穿于整个产品的开发周期，与其他流程并发地进行，某个测试点准备就绪时，就可以从测试准备阶段进行到测试执行阶段。软件测试可以尽早的进行，并且可以根据被测对象的不同而分层次进行。

如图 8.4 所示，说明了在整个生产周期中某个层次上的一次测试“微循环”。图中标注的其他流程可以是任意的开发流程，如设计流程或者编码流程。也就是说，只要测试条件成熟了，测试准备活动完成了，测试执行活动就可以进行。

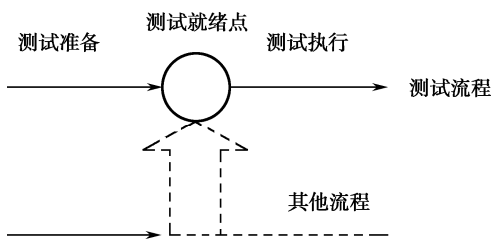


图 8.4 “H”模型示意图

“H”模型指出软件测试要尽早准备，尽早执行。不同的测试活动可以是按照某个次序先后进行的，但也可能是反复的，只要某个测试达到准备就绪点，测试执行活动就可以开展。

前面介绍了几种典型的测试模型，应该说这些模型对指导测试工作的进行具有重要的意义，但任何模型都不是完美的。应该尽可能地去利用模型中对项目有实用价值的方面，但不可以强行地去套模型，否则没有任何实际意义。

在这些模型中，“V”模型强调了在整个软件项目开发中需要经历的若干个测试级别，而且每一个级别都与一个开发级别相对应，但它忽略了测试的对象不应该仅仅包括程序，或者说它没有明确地指出应该对软件的需求、设计进行测试，而这一点在“W”模型中得到了补充。“W”模型强调了测试计划等工作的先行核对系统需求和系统设计的测试，但“W”模型和“V”模型一样也没有专门对软件测试流程予以说明。

事实上，随着软件质量越来越为大家所重视，软件测试也逐步发展成为一个独立于软件开发部的组织，对每一种测试，有一个独立的操作流程，包含了从测试计划和测试案例编写，到测试实施及测试报告编写的全过程，这个过程在“H”模型中得到了相应的体现。也就是说，只要测试前提具备了，就可以开始进行测试了。

“X”模型又在此基础上增加了许多不确定因素的处理情况，因为在真实项目中，经常会有变更的发生，如修复错误、裁剪系统，以及增加新发现的功能等。

因此，在实际的工作中，我们要灵活地运用各种模型的优点，在“W”模型的框架下，运用“H”模型的思想进行独立地测试，并同时将测试与开发紧密结合，寻找恰当的就绪点开始测试并反复迭代测试，最终保证按期完成预定目标。

8.2.2 软件测试与测试方法

软件测试的方法和技术是多种多样的，但通常情况下不论采用什么方法和技术，其测试都是不彻底的，也是不完全的，因为任何一次完全测试或者叫穷举测试的工作量太大，在实践上是行不通的，因此任何实际测试都不能够保证被测试程序中不存在遗留的缺陷。为了最大限度地减少遗留的缺陷，在测试实施之前，必须确定将要采用的测试策略和测试方法，并以此为依据制定详细的测试用例。一个好的测试策略和测试方法给软件测试带来事半功倍的效果，它可以充分利用有限的人力和物力资源，高效率、高质量地完成测试目标。

常见的测试方法分为白盒测试、黑盒测试和灰盒测试。三者之间的关系如图 8.5 所示。

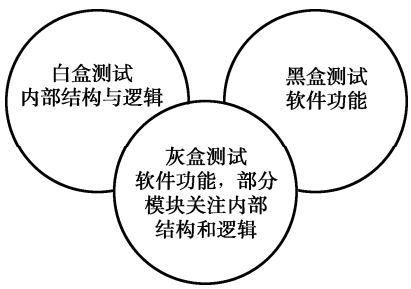


图 8.5　软件测试方法之间的关系

1. 白盒测试

基于源代码的测试称为白盒测试。和其他软件测试方法相比，白盒测试技术更容易发现软件故障。白盒测试又称为结构化测试，是一种基于结构的测试，主要进行软件的控制流测试和数据流测试。覆盖率和性能是衡量软件质量的重要指标，也是白盒测试的主要内容。白盒测试主要的测试依据是软件设计，它对软件内部工作过程的细致检查，对程序所有逻辑路



径进行测试。

白盒测试是把软件看成装在一个透明的白盒里，也就是完全了解程序的内部结构和处理过程。白盒测试是基于软件结构和代码的测试，一般在公司内部进行。这种测试方法将按照程序内部的逻辑来测试程序，检验程序中的每条通路是否都能按照预定要求进行正确工作。

常用的软件测试方法有：逻辑覆盖测试技术、域测试技术、路径测试技术、插装测试技术和变异测试技术等。

覆盖测试是软件测试最基本的测试方法，长期以来得到了广泛的应用。逻辑覆盖是以程序内部的逻辑结构为基础的设计测试用例的技术。根据覆盖目标的不同和覆盖源程序语句的详尽程度，逻辑覆盖又可分为：语句覆盖、判定覆盖、条件覆盖、路径覆盖等。

（1）语句覆盖是设计几个测试用例，运行被测程序，使得程度中的每一行可执行语句至少执行一次，主要用于发现缺陷或错误语句。

（2）判定覆盖是通过设计测试用例，运行被测程序，使得程序中每个判断的是和否分支至少执行一次，对整个表达式最终取值进行度量，忽略表达式的内部取值。

（3）条件覆盖是设计足够多的测试用例，运行被测程序，使得每一判定语句中的每一逻辑条件的可能取值至少满足一次。

（4）路径覆盖是设计足够多的测试用例，执行程序所有可能的路径。

2. 黑盒测试

黑盒测试是从软件的外部对软件实施测试，也常被形容为闭着眼睛的测试。其所进行的测试着重于软件的功能面，所以也称为功能测试。

黑盒测试把程序看成是一个黑盒子，完全不涉及程序的内部结构和处理过程。也就是说，只了解被测系统的输入输出关系，黑盒测试是在程序接口上进行的测试，它只检查被测试功能是否能满足需求规格说明书规定的功能，程序是否能适应当地接收输入数据产生正确的输出结果，并保持外部信息的完整性。

黑盒测试是一种基于需求的测试，其目的是验证被测软件是否符合软件的需求。它着眼于软件的外部结构，不考虑程序的逻辑结构和内部特性，仅依据软件的需求规格说明书，在软件界面上检查程序的功能是否符合要求，以此判定测试结果的正确性。

黑盒测试不关心程序内部的逻辑结构，而只是根据程序的功能说明设计测试用例，主要针对软件界面和软件功能进行测试。

黑盒测试中，测试用例的生成一般都是靠人工来完成的，许多方法对大型软件的测试是力不从心的，它需要花费太多的人工劳动，黑盒测试在发现故障的能力上目前也缺乏实验数据的支持。

常见的黑盒测试方法有：等价类划分、边界值测试、因果图、错误推测法、场景法等。

（1）等价类划分考虑有效等价类和无效等价类两种情况，测试软件正常的输入条件，也要测试意外的考验，保证软件具有更高的可靠性。

（2）边界值测试既考虑输入条件的边界，也考虑输出域边界，选取正好等于、刚刚大于或刚刚小于边界的值作为测试数据。许多的程序错误都是发生在边界上，针对边界设计测试用例，可以查出更多的错误。

（3）因果图法考虑输入条件之间的联系及组合，最终生成的是判定表，适用于检查程序输

入条件的各种组合情况。

（4）错误推测法是基于经验和直觉推测程序中可能存在的各种错误情况，有针对性地设计测试用例的方法。列举程序中可能出现的错误和容易发生错误的特殊情况，借助以往测试经验，程序出现错误的情况，以此设计测试用例。

（5）场景法利用事件触发的场景设计测试用例，根据同一事件不同的触发顺序和处理结果设计测试用例，生动描绘事件的触发情景。

随机测试也是最常用的黑盒测试技术，其测试用例的生成极为简单，通过随机测试，可以对软件的可靠性进行估计，但一般需要太多的测试用例。

3. 灰盒测试

灰盒测试把软件看成是一个介于白盒和黑盒之间的灰盒子。也就是说，灰盒测试关注输出对于输入的正确性，同时也关注内部表现，但这种关注不像白盒那样详细、完整，只是通过一些表征性的现象、事件、标志来判断内部的运行状态，需要详细测试部分软件模块的内部结构和处理过程，但又不能完全像白盒测试那样了解所有软件模块的内部结构和处理过程。

灰盒测试，是基于对程序内部细节有限认知上的软件调试方法。测试者可能知道系统组件之间是如何互相作用的，但缺乏对内部程序功能和运作的详细了解。对于内部过程，灰盒测试把程序看作一个必须从外面进行分析的黑盒。

灰盒测试结合了白盒测试和黑盒测试的要素。它考虑了用户端、特定的系统知识和操作环境。它在系统组件的协同性环境中评价应用软件的设计。灰盒测试由方法和工具组成，这些方法和工具取材于应用程序的内部知识和与之交互的环境，能够用于黑盒测试以增强测试效率、错误发现和错误分析的效率。

灰盒测试综合白盒测试与黑盒测试的方法，设计测试用例，对产品系统进行全面的测试。

8.2.3 软件测试与测试策略

测试策略是为软件工程定义的一个软件测试模板，也就是把特定的测试用例方法放置进去的一系列步骤。

测试策略的制定有利于发现软件设计缺陷，有利于查找问题，测试策略是对测试项目的合理安排，统筹指导测试计划的制订。

测试策略在整个测试活动中发挥着重要的作用，指导整个测试过程。

在制定测试策略时，需要反复检查并理解各种信息（数据等），与相关人员沟通和交流，理解他们的需求。可以按照以下步骤执行。

（1）确定软件提供的主要功能。

（2）对每个用户的日常功能，确定完成该功能所要进行的工作、前置条件、约束条件。

（3）对于时间有要求的功能处理过程，确定所要的时间和条件，考虑多任务操作的情况。

（4）确定会产生重大意外的安全和压力测试，包括：应用级安全、系统级安全；软件运行的 CPU、内存、硬盘空间等。

（5）确定应用软件系统所需要处理的数据量。

（6）确定需要的软件和硬件配置。通常情况下，不可能对所有的配置都测试到，因此要选



择最有可能产生问题的情况进行测试，包括：最低性能的硬件、几个有兼容性问题的软件并存、客户端机器通过最慢速度连接访问服务器。

（7）确定其他与应用系统有没有接口，包括：管理功能，如启动和退出程序；配置功能，如设置打印机；操作员的爱好，如字体、颜色；应用功能，如访问 E-mail 或者显示时间和日期等。

（8）确定安装过程，包括常用的典型安装、自定义定制安装、升级安装。

（9）确定没有隐含在功能测试中的用户界面要求。大多界面都在功能测试时被测试到，但还有没有是否没有测试到位的。如：操作与显示的一致性，如使用快捷键等；界面符合用户界面设计，如按钮大小、布局等。

有效的测试策略可以提高开发的效率，加快开发进程。因此在制定测试策略时，需要按照一般的规律进行设计。

1. 先静后动、从小到大、由黑到白

1）先静态测试后动态测试

从代码规则检查做起，测试开展的越早，付出的代价就越小。静态分析简单、方便、成本低、见效快，能为动态测试打下良好的基础，从而大大降低测试的成本。

2）先单元测试后集成测试

单元测试是集成测试的基础，单元测试得越好，集成测试的工作量就越小。

3）先黑盒测试后白盒测试

先验证软件的功能是否满足需求，后验证程序覆盖率，补充测试。

2. 质量分析，事半功倍

软件模块的逻辑结构能客观地反映出软件的质量，结构越“良好”，代码就越可靠。结构化测试是软件代码质量分析的好方法。由于代码复杂度与代码出错的关联性非常强，在测试工程中，充分应用结构化测试技术，从结构入手分析代码的复杂程度，可以指导测试的进行，指出代码质量改进的方向。

3. 选好工具，抓好管理

进行软件测试，通常工具是必需的，但不是万能的。根据测试的需要和测试工具的特长选择合适的测试工具，不但可以客观、准确地获得测试结果，还可以减轻人的工作量，降低测试成本。软件测试是一项长期化、系统化、常态化的工作，并且需要维护和更新，因此，需要对整个测试过程进行严格管理。

8.3 小结

软件测试是一项系统的工程，软件测试应该在项目的需求阶段介入，参与需求的讨论，在设计的各个阶段中，进行测试，及时发现产品设计缺陷，确保缺陷被及时解决。

软件测试主要是对用户需求的符合性测试，只可能尽量完美，不可能绝对完美，测试与开

发是相互叠加式前进活动的，没有最好，只有更好。

软件测试存在于设计的各个阶段之中，对产品的各个单元模块及集成进行测试。软件测试在发展的过程中，总结出测试模型，并运用测试模型的思想来指导测试，尽可能地检查产品的设计缺陷，促进产品的改进与完善。

软件测试需要遵循一定的测试方法，保证产品每项功能均被测试过，从产品软件的内部结构到产品的功能实现，从而保证软件的质量。

测试策略是根据经验总结出来的，软件测试按照测试策略执行测试，比较容易发现设计中的问题，测试策略综合了与产品相关的多方面因素，按照一定的顺序进行测试。

第 9 章

测试计划设计

本章主要介绍测试计划基础、依据及范围，分别从测试计划的因素、要素等方面介绍测试计划的设计技术。

测试计划是整个测试活动的前置活动，凡事都应该有计划，有了测试计划，才能使测试活动顺利有序进行。

测试计划的基本依据是测试工作量，即测试的项目与时间，这些都需要根据产品的功能与复杂程度进行估算，当然根据测试用例进行估算会更准确。

不同的测试有不同的测试计划，测试计划应精确到人和日，包含参与的人员和时间，应统筹整个测试过程，考虑测试项目的先后顺序。

影响测试计划的因素包括：测试项目、测试人员、测试环境、测试仪器设备、测试用例的可执行程度等。

测试计划需要包含多方面的要素，主要有：测试目的、测试策略、测试人员、测试项目及时间等。

本章节将重点介绍测试计划的依据、影响因素及要素。

9.1 概述

测试计划是统筹规划测试活动，综合各种人力、物力、时间资源，综合考虑而制定的具有针对性的计划安排。

在测试计划设计时，需要依据产品的功能及性能测试项目，结合测试人力资源，按照规定的顺序，考虑测试设备的使用情况，进行统一的测试安排。在测试过程中，可能出现一些问题，需要设计人员进行确认，鉴于此，测试计划应根据实际情况留一些适当的余量。

测试计划根据测试对象的不同，可以按照不同的设计方法进行设计，有些产品的设计还不充分，因此制定的测试计划只是个大概，这样的测试计划准确性比较差。理想的测试活动应该是测试计划设计完成后进行的。

9.1.1 测试计划设计基础

测试计划的目的是尽早地明确测试工作的内容、范围、测试工作的方法及测试工作所需要

的各种资源，并根据这些信息，编制合理的测试计划，确定测试工作需要考虑的问题和条件。测试计划工作的重点在于对当前阶段工作任务的准备和规划。

测试计划设计是在测试任务确定以后进行的，测试计划的设计人员需要考虑多方面的因素，是对测试任务的整体规划。测试计划关注每项测试需要的时间，一般不具体到测试项目中的测试项时间，当然测试项目的时间是根据各测试项的时间而来的，两者之间存在一定的时间关系。

测试计划需要站在整个测试任务的角度，对时间、测试人员、资源进行合理分配。时间受项目进度的制约，如果项目开发时间紧，现场急需使用，那么时间是非常有限的，如何在有限的时间里，完成尽可能全面的测试是很重要的，需要召集足够的人力、设备资源，还需要对测试项目进行筛选，只能选取优先级比较高的测试项目和容易出现问题的测试项目进行测试，在有限的时间里，发现尽可能多的设计缺陷。

时间宽裕的测试项目在制订测试计划时比较容易把握，对产品的所有测试用例都需要执行，分析每个测试项目的时间和需要耗费的人力，综合设备资源，制定比较充足的测试计划安排，应对测试过程中出现的紧急情况，而且还可以为测试人员的探索测试留下充裕的时间，提高产品的测试效果。

测试计划是整体规划测试活动，有利于测试高效有序地进行，有利于对测试过程的控制，有利于保证测试的质量；测试计划是对测试过程的整体安排，根据测试工作量和一定的顺序，合理安排时间与测试人员，可以保证在有限的时间里，进行比较全面的测试，提高测试的效率。测试计划考虑制约测试的各种因素，保证测试的顺利进行。

制约测试实施的因素主要有不满足条件的测试项目及测试中遇到的重大问题，在测试计划中对不满足条件的测试项目进行注明，不安排时间和人员，如果测试中遇到了重大的问题（功能缺失或不符合产品用户需求），需要根据测试的目的确定是中止测试还是继续测试。若测试的目的是为了发布测试，那么就应该中止测试，若测试是为了验证用户需求，了解产品的质量，就可以继续测试，尽可能发现产品存在的缺陷。

测试计划中明确了测试的工作量及需要花费的时间，测试的进度可以得到有效的控制，测试人员会根据偏差来调整测试进度，以达到对整个测试过程的控制；测试计划中明确了测试项目，这些项目在测试用例中会有详细的步骤，按照步骤进行，不会遗漏某些测试项目，保证了测试的质量；测试计划还可以预防风险，对存在的风险进行评估，制定应对的策略，保证测试的顺利进行，比如针对容易出现问题的测试项目，可以在测试计划中优先进行，及时发现设计的缺陷，降低产品的风险，减少产品的测试成本。

产品的风险还包括不确定因素，如产品的正式标准没有公布，可能存在变数，这些都需要在测试计划设计时进行考虑，制定适当的策略规避风险。

测试计划需要根据实际情况进行设计，根据项目的特点、公司的资源及相关因素进行设计，脱离了实际的测试计划只是一纸空文，没有任何意义；测试计划需要根据实际情况的变化而不断地进行调整，由于受资源的限制、人力的变动影响，测试计划需要进行及时调整，以满足实际测试需要。

测试计划的目的是保证测试过程的顺利进行，保证测试高效有序的进行，避免测试过程中可能遇到的停滞状态，减少无效的测试。

测试计划事先已经核实了哪些项目可以做，哪些项目不可以做，使测试有序进行，从而保



证测试的效率，使测试不因某些因素而中断。测试计划统一对测试任务进行了安排，避免了测试的重复进行，提高了测试的有效性。

9.1.2　测试计划设计依据

测试计划设计需要依据各方面的因素，包括产品的功能、测试项、人力资源、时间、不确定因素等，测试计划是对资源的宏观调控，是对资源的合理配置。

（1）产品的功能与测试项直接关系到测试计划的编写，而且还受到产品检验细则中的特殊规定的影响，一般规定了产品的测试顺序，这些都是在测试计划中需要考虑的。有些测试项可以并行进行，进行合理的安排，以减少整体测试时间。

产品的功能与测试项直接影响工作量的估算，且工作量的估算需要对测试的功能进行细化，考虑每个功能所要执行的测试类型（除了功能方面的测试，还要包括非功能性的，如兼容性、负载、压力、容错等方面）。

（2）人力资源对测试计划设计的影响也比较大，测试活动依赖于测试人员来完成，测试人员情况及变动直接影响测试活动的实施。在测试计划设计时，应充分考虑人员变动对测试的影响，以调动合适的人补充，保证测试的顺利进行。

（3）测试活动的实施需要一定的时间，时间是否宽裕影响测试的实施，因此需要对时间进行预估，在有限的时间内，合理安排测试项目，达到测试的效果。

（4）不确定因素包括事先可预知的和不可预知的。可以预知的不确定因素应在测试计划设计中进行考虑，制定应对措施，保证测试的顺利进行；不可预知的因素需要根据实际情况进行处理，及时调整测试计划。

理想的情况下，各种资源都比较完善，各种因素比较确定，制订的测试计划是比较准确的。而实际情况时，资源存在变数，因素存在不确定，在测试计划设计时，只能根据已知的资源、因素进行设计，在测试的过程中根据实际情况进行调整。

测试计划可以使测试人员对测试工作量有一个整体的认识，明确测试任务，使测试人员整体把握测试活动，有计划有目的地进行测试，避免盲目测试带来的测试项缺失，影响测试的质量。

理想的测试计划是准确的、有效的，实际情况下可能是不定的、无效的。测试计划是对测试活动的规划，可能由于前期的设计不足，使测试计划在实施时，寸步难行，变动频繁，失去了测试计划的作用，因此在测试计划设计时，综合考虑不确定因素，以保证测试计划的顺利执行。

测试计划对测试任务的描述是准确的，对测试活动的指导意义是肯定的。测试计划是经过评审的，保证各方面的资源都进行了合理的配置，参与测试的人员都得到了确定的答复。

测试计划需要经验积累，经验的积累是一个逐步的过程，一个项目完成后，应该对计划的执行情况进行总结，看有哪些不合理的地方，有哪些比较周全的设计，以便为编写下一个项目测试计划做经验积累。

测试计划设计需要考虑功能的优先级，可以根据不同的标准划分功能的优先级。

1. 风险最高到风险最低

当确定一个项目的开发时间表和相关的测试策略时，考虑风险等级的高低非常重要。将精力首先集中在风险高的功能上，保证其进行充分的测试，减低产品的风险。

2. 复杂度最高到复杂度最低

根据复杂度划分优先级，首先开发和测试最复杂的功能，这种方法可以最大限度地减少进度的延迟程度。

一般情况下，复杂度越高的功能其出现问题的概率也比较高，越简单越不容易出错，在测试中重点关注复杂的功能项目。

3. 客户需要

对于大多数项目，一般都是根据客户的需要来确定功能及交付的，这通常是为了配合产品的运营和销售活动。

客户需要也就是用户需求，用户需求是第一位的。在进行测试计划设计时，客户需要的测试项应首先进行。

4. 时间及人员限制

在进行优先级划分时，需要考虑时间限制及人力的可用性，不仅需要考虑测试项目，更重要的是考虑测试人员，如果没有测试人员去执行测试，测试计划也就没有任何意义。

9.1.3 测试计划设计意义

测试计划设计是统筹安排各种资源，从而使各资源发挥最大的作用，避免资源的浪费，保证测试活动的顺利进行，避免测试中出现无法进行下去的情况。

测试计划设计对时间、人力、策略等资源进行了合理的分配，使产品在有限的时间内，各资源都能发挥各自的作用，各部分功能都被测试到，避免资源的闲置，以保证资源发挥最大的作用。

测试计划设计时，由于在测试前对各种资源存在的风险已经规划了处理措施，使在资源出现变化的时候，及时进行相应的处理，保证测试的顺利进行，因此在测试中不会出现测试停滞的现象。

测试计划设计是为了提高测试的效率。通过对测试项的时间安排，保证测试全面，对产品测试的质量进行控制。其中对资源的合理安排，保证获得最大的输出，保证测试有序高效的进行，提高了测试的效率；对测试任务的分工，有利于保证测试的全面，避免遗漏某些测试项目，进而保证了测试的质量。

测试计划对整个测试活动有具体的认识，说明了测试需要花费的人力、时间等，便于项目的管理人员对产品项目的整体规划，安排产品的设计进程。

测试计划中明确了参与测试的人员及工作量、测试活动的各阶段时间节点，这些都是产品的管理层急需了解的，通过对测试的整体认识，指导产品的设计开发。

9.2 测试计划设计

测试计划设计需要考虑与产品测试相关的各种资源，是对各种资源的合理配置，其还需要考虑一些可以预知的风险或不确定因素，制定合理的措施进行应对，保证测试的顺利进行。

测试策略是测试过程中需要采取的测试方法、测试项目的顺序及并行测试的安排，它包括对风险的控制。

测试计划包括多种要素，主要有测试任务、人员分工、时间安排，这些是影响测试计划设计的主要因素，通过对这些因素的把握，设计合理的符合实际情况的测试计划。

9.2.1 测试计划的因素

影响测试计划设计的因素比较多，包括与产品相关的各种资源和约束，这些资源和约束影响测试计划的执行，影响整个测试过程。

影响测试计划设计的因素包括测试时间、测试团队、测试环境、测试仪器、测试工具、测试任务、产品需求、标准规范特定要求、测试风险等，如图 9.1 所示。

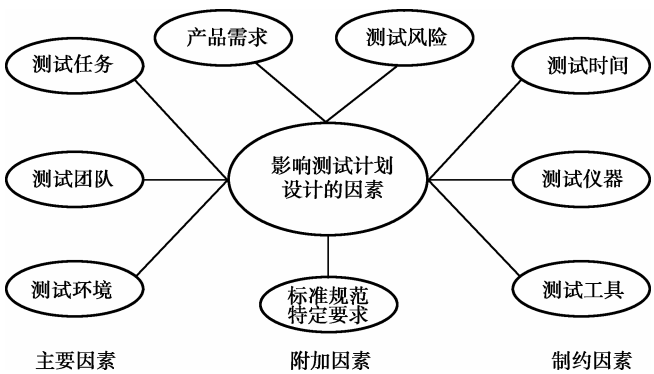


图 9.1　测试计划的影响因素

（1）测试时间是测试计划首先考虑的事情，如果时间紧张，就需要调整测试计划和策略，设计并行测试事件，以达到满意的测试效果。

（2）测试团队是具体的参与测试的人员，一般测试团队应由两个或以上的人员组成，在测试中互相监督测试过程，一是避免测试项的缺失，二是扩展测试的思维，寻求更多的探索测试，提高测试的质量。

（3）测试环境是满足测试的前提条件，且测试环境应该是完整的，与实际使用是一致的，硬件和软件的版本是受控的，与要求的测试对象是相同的。

（4）测试仪器、测试工具是测试过程中需要用到的仪器及工具，进行测试计划设计时，需要对设备的完好程度及使用情况进行调查，避免在测试执行过程中异常，保证测试的顺利进行。

（5）测试任务一般是比较概括的，需要对测试任务进行分解，测试任务的分解程度直接关系着测试计划的设计，需要对测试项的时间估算，结合人员等资源情况及经验数据，从而设计

合理的时间。

（6）产品需求代表了用户的要求，产品设计时可能忽略了某些隐性需求，在测试时，需要对这些隐性需求进行分析，测试产品的影响程度，达到测试的目的。

（7）标准规范特定要求中可能规定了某些测试项的顺序，在测试计划设计时，需要参照其执行。其中也规定了具体的测试项，在时间紧张的时候，就可以只对要求的测试项进行测试，以压缩测试时间。

（8）风险是客观存在的，有些风险是无法预知的，在遇到不可抗拒的因素时，需要对测试计划进行调整，以保证测试顺利实施，如人员的调动，需要及时有相关的人员补充进来，如果没有人员就需要加班进行测试或者延期执行。

测试计划需要考虑确定测试对象的优先级和测试实现的先后顺序，以帮助我们在工作时把注意力集中到最关键、最有意义和优先级最高的测试对象上。另外，还可以通过利用业务之间的依赖性，合理的安排测试过程，提高工作效率。

为了确定测试优先级，首先要风险评估。对于风险最高的被测对象，应该优先进行测试。对于风险的评估，可以从下面三个方面进行考虑。



1. 重要性和严重性

对于系统中需要测试的对象，要从用户实际业务的角度进行考虑，这个被测对象在系统中起到什么作用，如果它失效了，将会导致什么不良后果。



2. 原因分析

如果某个被测对象失效，那么导致它失效的原因是什么，这个原因又是如何出现的，它对系统正常业务有没有影响，影响多大，这些都是需要分析出来的。



3. 可能性分析

一个被测对象可能失效，那么出现失效的概率有多大，出现的概率越高，则风险也就越大。对于那些频繁发生的业务或经常使用的功能，发生问题的概率会比较高；而对于那些在以前的版本或类似的业务中曾经发生过的问题，在当前的版本或业务中再次发生的概率也会比较高；由于需求变更引起的设计变更，其出现问题的概率会比较高。

优先级的确定要依赖于多个方面的指标，如风险、设计进度、用户协议等。

（1）根据风险评估，确定不同测试对象的风险，从而来确定优先级的权值。

（2）根据设计进度，依据完成的功能设计及与其他模块的相互关系，调整优先级。

（3）用户协议主要是指在以合同为项目立项的产品中，明确规定了产品的交付时间及重大节点，越早交付的，其优先级越高。

测试计划是可以根据大的实际变动进行调整的，但是最好不要频繁的进行调整，除非遇到了严重的问题或资源的改变，否则频繁调整测试计划将失去测试计划存在的意义。

测试计划是站在整个测试产品的高度，对存在的各种资源进行调控，制定合理的测试计划安排，以保证测试的顺利进行。

9.2.2　测试计划的策略

测试策略的意思就是说“如何测试目标产品或应用程序？”，需要在测试策略中明确地指出进行测试时所使用的方法和步骤。

测试活动贯穿于产品的整个生命周期。根据产品设计所处的阶段确定不同的测试策略，如图 9.2 所示。

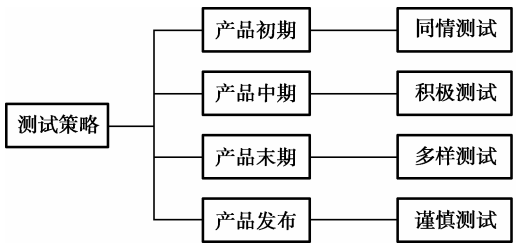


图 9.2　不同阶段的测试策略

1. 产品初期，同情地测试

在项目开发的初期，项目开发团队的工作还没有全面走上正轨，测试人员对产品的了解也不多。在这个阶段只需要进行简单的测试，测试功能是否已经实现。产品还不成熟，测试活动还很大程度上依赖于开发。

2. 产品中期，积极地测试

随着产品逐渐成形，主要功能已经实现，简单测试不能满足需要，此时需要进行更严格、更复杂全面的测试。充分对产品进行测试，尽可能多地发现设计缺陷问题。

3. 产品末期，多样地测试

此阶段的产品已经成熟，前期出现的问题也大都进行了解决，查找产品的问题比较困难，因此需要更多的创造性，可以充分发挥自己的想象力，进行多样化测试，利用多种测试手段进行反复测试。

4. 产品发布，谨慎地测试

产品发布阶段的测试是测试的最后一道关口，一旦在现场使用时出现问题，这样将会为公司带来巨大的损失。产品发布阶段的测试应该更加全面。要仔细测试每个变更，检查这个版本要交付的所有文件，测试产品的所有功能及性能。

（1）测试策略需要包含产品的背景信息。产品的背景体现产品开发的需求，产品开发是基于什么目的展开的，有利于理解产品及测试的功能优先级排序。

（2）测试策略包含用到的测试方法，对测试项目进行分类，按照测试的方法进行模块划分，有利于测试的开展。

（3）测试策略需要说明测试进入和结束的标准，满足哪些条件可以开展测试，遇到什么情

况可以结束测试，测试的开展与结束都需要明确的标准。

（4）测试策略中，应明确每个测试人员的角色和职责，对工作量进行明确细分，使每个人对自己的工作任务有一个清楚的认识，利于测试的实施。

测试中发现的错误一般建议在整轮测试完成后，再进行集中的修改，再次进行提交测试或者直接开始测试，需要进行全部的测试，避免因程序修改引入新的错误，这就是全回归的概念，对所有的测试用例遍历一遍，保证产品的质量。

测试策略会根据实际情况的变化而进行调整及改进，根据资源的变化作出适当的修改，以适应测试的需要。

测试策略在执行中需要充分利用可利用的资源，以使测试策略的执行效果达到最大化，保证测试的质量。这些资源包括，测试人员的技能、技术知识、测试经验及测试工具、测试平台等。

测试策略需要多样性，以开放的思维进行测试，运用不同的测试方法和手段，从多方面进行测试，不要局限于测试用例中的测试项，可以随时增加合理的测试项目。

9.2.3 测试计划的要素

测试计划要描述测试策略、资源及工作产品输出。好的测试计划，不管是不是书面的，都要描述相关的测试过程。测试计划至少要包含以下三方面的设计。

1. 策略设计

如何测试产品以快速找出重要问题，需要对哪些部分进行特殊测试，哪些部分比较重要，要运用什么手段进行测试，这些都是需要进行考虑的。

首先进行容易出现问题的测试项目，保证对风险比较大的测试项目进行充分的测试，快速确定问题，有利于产品的改进，测试策略要规定测试项目与测试任务之间的关系，对测试项目进行优先级设计，对重要的功能和需求进行重点测试。测试策略需要考虑通过不同的方法和手段进行测试，以尽可能地发现产品设计的缺陷，提高测试的质量。

2. 资源设计

如何利用资源实现测试策略、谁来测试、什么时候测试、要想成功需要什么条件。

（1）资源是满足测试的条件，只有资源满足了，才能实现测试的目的，才能按照测试策略进行测试。

（2）测试离不开测试人员，需要把测试人员确定下来，并与测试人员进行沟通，并确定没有问题，才能在测试计划中进行安排。

（3）测试计划还依赖于其他的资源，如时间、测试设备等，只有这些资源都具备了，才能保证测试计划的准确执行。

3. 工作产品输出设计

工作产品输出设计明确需要输出什么测试文档，何时提交。

1）测试文档

测试文档一般包括测试申请、测试计划、测试用例、测试记录、测试报告等，需要在特定的时间节点输出，否则会影响测试活动的顺利进行。

（1）测试申请中明确了测试的内容、标准、软件硬件版本及时间的要求，对于测试计划的设计是很重要的，测试时间不局限于所要求的时间，应根据实际情况制定。

（2）测试计划是对各种资源的统一安排，统筹测试活动，考虑各种不确定因素和风险，制定合理的测试的计划是比较重要的。

（3）测试用例是对每个测试的细化和分解，包含了各种情况的测试，是具体测试活动的依据，必须保证在正式测试开始时，得到评审输出。

（4）测试记录是测试过程中执行的结果，包含了测试中遇到的问题和结果，需要在测试过程中进行记录，测试后及时输出，以保证产品被及时改进完善。

（5）测试报告是对测试活动的整体评价，包含对测试目的、过程及问题的描述，在测试后进行及时的整理，并提交审核批准。

2）测试计划

测试计划的要素一般包括测试目的、测试策略、人员安排、测试任务、未测试项、人员分工、时间安排、工作量、工作输出、测试问题评审、文件输出、潜在的问题与风险、备注等。

（1）测试目的是测试活动需要达到的要求，为什么进行这次测试活动，是为了产品的发布，还是为了满足认证的需要，是产品现场的需要，还是公司内部的摸底，不同目的的测试，测试项目可能有所不同。

（2）测试策略描述的是测试过程中所采用的测试方法、顺序，以及对不确定因素的处理措施，预测测试过程中出现的问题，对问题的确认留一些时间余量。

（3）人员安排是整个测试活动中参与的人员，明确测试负责人，测试负责人对测试整体活动负责，负责资源的协调和问题的确认。

（4）测试任务是具体细分的测试项，是工作任务的具体体现，工作任务越明确，时间就容易被确定，而测试计划就越准确。

（5）未测试项需要在测试计划中明确指出，说明不被测试的原因，有利于对整体测试质量的控制与评估。

（6）人员分工是具体的测试项的参与人员，特别是在有并行测试任务时，合理分配测试人员是很重要的，从而保证测试人员进行力所能及的工作任务。

（7）时间安排是细分测试项的时间，是一段确定的、具体的时间段，一般是连续的，除非有几个项目在同时测试时，可能出现断续情况。

（8）工作量是测试活动时间的评估，是统计测试任务量的具体指标，是对整个测试活动时间的具体阐述。工作量的累计就是对整个测试活动所花费时间的估算。

（9）测试问题评审是针对测试过程中遇到的问题而进行的活动，目的使测试人员与开发人员统一认识，对问题达成一致意见，如何跟踪产品的问题，并明确下一步的工作安排。

（10）文件输出是在不同的时间节点时，输出需要的文件，保证测试活动的完成，使出现的问题有据可查，需要的数据可以快速地找到。

（11）潜在的问题和风险就是在说测试过程中可能存在的不确定因素，在测试计划设计时应进行预测，并制定合理的措施进行防范，以保证测试的顺利进行。

（12）工作输出是在每个阶段节点进行的文档输出，用于保证测试活动的顺利进行或提供有效的测试数据，以达到对测试过程的控制。

9.3 小结

测试技术是执行测试的前置活动，对时间、人力、实验设备工具、测试环境等资源进行合理的配置，保证测试活动有序、高效、顺利地进行。

测试计划的设计主要依据与之相关的各种资源及可能存在的变化，需要对各种资源进行分解，分析出各资源之间的制约关系，进行合理的安排计划。资源的变动影响测试计划的实施，因此在测试计划设计时，需要对这种不确定因素进行预测，并提供处理措施。

测试计划是对测试资源的合理配置，保证测试有序、高效、顺利的执行，通过对测试项的计划与分工，有利于提高测试的质量。

影响测试计划的因素有很多，这些因素需要在测试计划的设计中充分分解，进行详细的阐述。一个因素可能影响其他因素，可能影响测试计划的整体进行，因此需要对测试计划的影响因素进行充分的挖掘，以保证测试的顺利进行。

不同阶段的测试需要采用不同的策略，各阶段的测试重点有所不同，关注的测试项也不同，需要参照优先级的理念，对产品的测试项进行优化，进而对测试过程进行优化，提高测试的效率。

测试计划中一般包括：测试目的、测试策略、测试人员、测试分工等，测试计划设计时要明确这些要素，使相关的人员对测试任务有一个整体的认识，保证测试活动有序进行。

测试计划设计时，只有考虑各种资源的实际情况，才能保证测试活动按照测试计划进行，否则，测试计划只是一纸空文，没有任何意义。它是以实际的测试资源、存在的不确定因素为基础的，测试计划设计时，需要明确各种资源，合理配置，这样的测试计划才有意义。

第 10 章

测试用例设计

本章主要介绍测试用例设计基础、测试用例设计作用及测试用例设计依据，分别从测试用例设计与需求、方法、技巧等方面介绍测试用例设计技术。

测试用例是整个测试活动的核心，是测试的依据。测试用例中综合了产品需求、技术标准、规范及技术条件等多方面的因素，覆盖所有的用户功能要求，代表了用户的最终意愿，因此设计全面的测试用例具有非常重要的意义。

测试用例指导测试活动的进行，是产品质量的判断依据。测试用例的设计关系到产品的可使用性、可靠性、维护性、安全性等多方面的性能，保证测试活动的顺利有序进行，提高测试工作的效率。

测试用例设计是以产品的用户需求为依据的，其目的是验证用户需求，包括显性和隐形需求，整个测试过程就是对产品需求的验证，是测试用户功能需求的符合性。测试用例设计需要与各方面人员进行有效沟通，达到测试的效果。

产品的需求是贯穿于整个产品生命周期之后的，产品的设计与测试需要满足产品的需求。测试用例设计是对用户需求的细化与分解，具有功能单一、步骤简单、方便执行的特点，且测试用例要求全面、有效。

根据不同的方法对测试用例进行设计，注意测试用例库的建立，强调测试用例复用技术，对用例库进行实时的维护，根据产品需求的变更和功能的完善进行及时的增减和调整，对测试用例库进行及时的完善，保证测试用例库与产品需求一致。

测试用例设计引入了优先级的概念，根据其对应需求与功能，进行优先级划分，在测试过程中进行合理的规划，保证较高的测试效率，从而保证测试的效果。

本章节将重点介绍测试用例设计的依据和方法。

10.1 概述

从广义上讲，测试是验证和确认。验证指保证产品正确地实现了一特定功能的一系列活动；确认是指保证所生产的产品可追溯到用户需求的一系列活动。验证和确认都需要按照一定的测试用例执行，测试用例保证其有序顺利的执行，可以对测试过程进行控制。

测试用例是一切测试活动的基础，是测试活动的核心，编写好测试用例，具有重大的意义。测试的执行需要依据测试用例进行，使得测试有序高效的执行。

测试用例是把测试思想、测试策略、测试方法转化为具体的可执行步骤，考虑各步骤之间的联系，最终整理为文档、表格，为正式测试作准备。测试用例保证测试顺利有序进行，有利于对产品进行全面测试，不容易遗漏测试项目。

测试用例设计是测试活动的关键环节，是基于产品的用户需求，确定一组最有可能发现某个错误或某类错误的测试数据。

测试用例是用户使用场景的集合，提取用户功能点，测试与之相关联的功能需求是否满足。测试用例中包含了产品在运行过程中的各种状态，测试的过程就是以用户的身份使用产品的体验，通过对产品运行和使用情况的测试，了解产品的质量。

测试用例的编写依据产品的用户需求、标准、规范及技术条件。它是对相关要求的具体分解，是用户需求和标准的具体表现。

10.1.1 测试用例设计基础

测试用例是为某个特殊目标而编制的一组测试输入、执行条件及预期结果，以便测试某个程序路径或核实是否满足某个特定需求。

测试用例是描述测试输入、处理动作、执行结果和预期结果的一个文件，目的是确定功能子模块或某程序代码段能否满足软件某个特定的目标。用例内容包括测试环境、测试目标、输入数据、测试步骤、预期结果等，针对不同类别的软件设计不同的测试用例。

测试用例应该尽早设计，一般在需求阶段，便开始考虑和设计系统测试用例，当需求规格书确定后就开始设计功能测试用例，这样依据产品的用户需求、标准规范、技术条件，综合设计测试用例，按照标准规定的要求和方法进行设计。在产品设计阶段可以及时发现设计错误，促进产品的完善和优化，以保证测试用例尽可能地完善。

测试用例需要及时完善，它伴随于产品的整个生命周期，任何需求的变更及功能的完善都关系到测试用例的更改，现场发现的问题需要及时把针对问题的测试方法补充到测试用例中，以保证测试用例的全面性。

测试用例中需要明确每一步操作的执行预期结果是唯一的，在测试中才能有效地执行，也就是在执行时，其结果是确定的，测试时，只需要验证与预期是否一致，出现不一致的情况时，有可能就是出现问题的地方，在测试中应重点对待。

测试用例中应明确测试步骤。每一步完成什么操作应该是明确的，没有异议的，其预期结果也是确定的，任何不符合预期的都可能是问题。

在进行测试用例设计时，尽可能利用路径覆盖法进行设计，覆盖程序尽可能多的路径，使每一种情况被测试到。

在功能测试中需要把百分之八十的精力投入到边界情况和失效数据作为输入条件的测试情况中，一般情况下，正常的输入数据是没有问题的，程序出现问题一般是在边界或错误的数据输入时。

测试用例设计时需要进行优化，避免重复烦琐的测试。测试用例的数量和质量决定了测试的成本和有效性。测试用例设计应给予产品的用户需求，充分考虑测试目标中各个测试需求之间的相互关系，设计测试用例，避免在测试中重复验证用户需求，对测试用例进行简化。

有人认为，测试用例设计得越详细越好，尽可能设计足够多的设计用例，制定详细的用例执行步骤，以达到“任何一个人都可以根据测试用例执行测试”，这些都不是测试用例设计的本意。编写测试用例的根本目的是高效的发现软件产品中可能存在的缺陷，因此设计测试用例时应把握用最少的测试用例尽可能的覆盖测试需求，从而达到“少花时间多办事”的效果。

测试用例设计完成后，需要对测试用例进行评审，邀请项目开发人员及领导、行业专家、测试负责人等与项目相关的人员，提前将测试用例发给相关的人员，搜集用例审查意见，进行综合，在会议讨论时进行讨论，最终达成一致意见，并及时调整测试用例。经过评审的测试用例才是有效的、准确的，执行测试前一定要保证测试用例的有效性，测试用例是测试的依据，测试是按照测试用例进行的，若测试用例有问题，花费再大的人力、物力都是没有意义的、无用的。

10.1.2　测试用例设计作用

测试用例的设计和执行是测试工作的核心，也是测试中工作量最大的任务之一。良好的测试用例设计可以保证测试的质量，有效地减少测试过程中的重复工作，降低测试成本，是测试质量的根本保障。

测试用例在测试中起着举足轻重的作用，主要体现在如下几个方面，如图 10.1 所示。

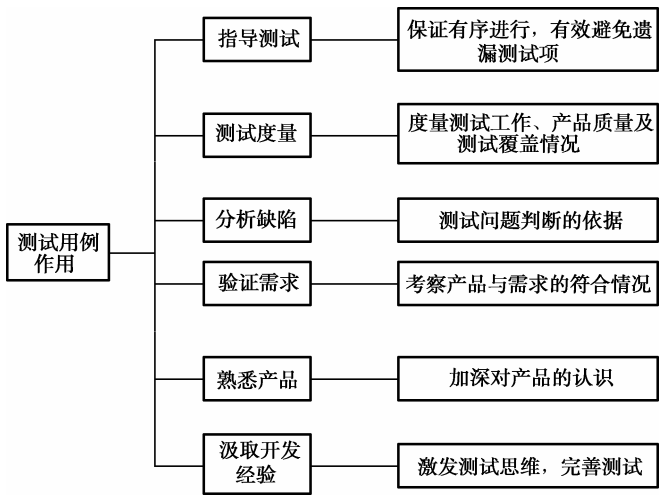


图 10.1　测试用例的作用

1. 指导测试的实施

在实施测试时，测试用例作为测试的标准，测试人员一定要按照测试用例严格按用例项目和测试步骤逐一实施测试。

测试用例保证了测试的有序进行，全面的测试用例间接的保障了产品的质量，减少产品在实际应用中的问题，提高了产品的稳定可靠性。

2. 评估测试结果的度量基准

完成测试实施后需要对测试结果进行评估，并且编制测试报告。而判断测试是否完成、衡量测试质量、检验测试工作对功能点的覆盖情况等工作都需要一些量化的结果，根据测试用例对上述检验进行度量是很准确有效的。

3. 分析缺陷的标准

测试用例中的预期结果就是判断测试问题的标准，为测试提供判断依据，有时一项测试可以产生多个缺陷。

4. 验证用户需求

测试用例是对用户需求的最全面覆盖，各种需求都体现在测试用例中，通过对测试用例的执行，就可以考察产品与用户需求的符合情况。

5. 加深对产品的认识

测试用例中体现了产品的测试过程及执行结果，包含了所有的用户功能，通过对测试用例的编写，可以更深入的了解产品。

6. 汲取开发者的思想，为测试受用

测试用例中详细的步骤与执行结果，体现了开发人员处理问题的方法，这些方法可以激发测试人员的思维，进而设计比较全面的测试用例来测试各种分支，测试各种分支都符合设计预期结果。

10.1.3 测试用例设计依据

测试用例设计需要遵守一定的原则，每一个测试用例应当有一组有限可枚举的待测目标的判定准则，测试目标应尽量化复杂为简单，以及对测试用例的执行力度，即在特定输入条件下进行的测试细分程度和测试的次数。

测试用例设计需要遵循一定的原则，避免随意性，保证测试用例的质量，主要从以下方面进行考虑，如图 10.2 所示。

1. 要从整个开发测试过程考虑测试用例的设计

开发过程一般是一个设计、验证、修改、设计的反复过程，有时是因为用户需求的变更，有时是因为设计的遗漏，测试用例需要紧跟产品设计的步伐，及时调整测试用例，根据变更的需求和设计的完善，保证测试用例的实时有效性。

2. 要对项目的每个阶段有充分的理解和认识，并且得到确认

测试用例是对产品用户功能最全面的体现，只有对产品进行了充分的了解和认识，才能设计出有效准确的测试用例。测试用例需要紧随开发，及时调整和完善。

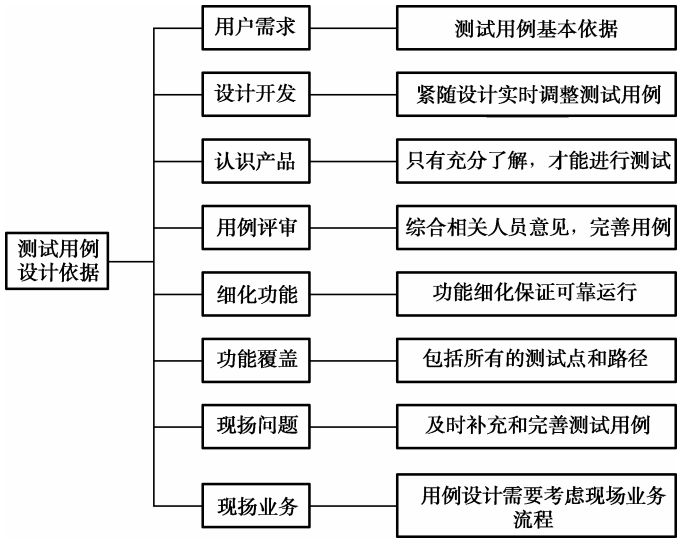


图 10.2　测试用例设计依据

3. 要对设计好的测试用例进行评审

测试用例是整个测试过程的依据，只有保证了测试用例的有效准确，才能保证测试的质量。通过评审，从其他相关人员如开发人员等那里得到修改意见来完善测试用例。

4. 考虑一项功能的各种情况

一般产品的功能比较简单，与之相关的情况是比较多的，针对每种逐步细化、完善测试用例，如一个区间行车功能，包括一端到另一端的行车，反方向的行车，一端进区间后折返，另一端进区间的折返，还包括从两端进区间后的留车情况，只有考虑了各种情况，才能保证产品在使用中可靠运行。

5. 任何可测试点都要设计测试用例

测试用例的全面性与测试的质量密切相关，测试用例应尽可能覆盖产品的各种路径、各个业务，每个测试点都需要进行设计测试用例。

6. 现场发现的缺陷要及时的添加到用例库中

现场运行中出现的问题是非常宝贵的财富，这些问题一般是不容易发现的，有时是局限于实验室设备。现场问题的搜集，对提高产品的质量很有帮助。

7. 测试数据应符合用户实际工作业务流程

测试数据应符合用户实际工作业务流程是强调测试用例的有效性，测试用例是以设计业务流程为依据的，在测试用例设计中，兼顾各种业务变化的可能，要符合当前业务的行业法律和法规。

8. 测试用例应符合用户需求

任何测试用例都是建立在用户需求之上的，脱离用户需求的测试用例是没有意义的，测试

用例应该覆盖所有的测试需求，而测试需求是由产品需求转换而来，所有测试用例的执行结果最终都会追溯到产品需求，因此测试用例的编写依据主要是产品需求。

有些项目的开发过程是以采购合同推进的，先有合同，后有项目的开发，这种情况下，采购合同就是重要的测试依据，项目的开发和测试都要满足合同的要求。实际情况下，有些项目没有检验细则，没有技术条件，就是按照合同进行测试的。

10.2 测试用例设计技术

测试用例设计受到测试用例设计人员的技术背景、工作经验、测试思路等多方面的影响，测试用例需要继承前人的测试用例设计成果，根据产品的附加功能及联系，进行对测试用例的完善。

测试用例复用技术就是在执行一项新的测试工作时，通过直接调用或修改现有的测试用例，整理编写适合此项测试的测试用例，并将它们运用其中的过程。

测试用例优先级可以保证项目在有限的资源情况下，完整最有效的测试，对测试过程进行优化。

10.2.1 测试用例设计与需求

测试用例是以用户需求为依据，每一个需求可以对应一个或多个测试用例，测试用例是对需求的充分验证。对需求的分析不仅仅是理解用户需求，而且需要站在使用用户的角度提出一些意见，还包括与现场人员进行有效的沟通。只有对需求进行了充分和正确的理解，才能设计出准确的测试用例。

测试需求有三个层次，即任务需求、用户需求、功能需求。测试需求分析和测试用例设计参照的是产品需求规格说明书。

产品需求规格说明书中的功能需求描述了系统所应具有的外部行为，且需求规格说明书还应包括隐性需求，描述系统展现给用户的行为和执行的操作等，包括产品必须遵守的标准、规范和技术条件、外部界面的具体细节、性能要求、设计或实现的约束条件及质量属性。

测试需求的主要来源是系统需求规格说明书，但有些需求需要借助概要设计文档或者详细设计文档中获得，用例设计人员可通过分析产品功能和依据测试经验，挖掘产品隐性需求，以保证设计准确的测试用例。

测试用例的设计是测试需求细化的过程，在测试用例的具体设计中，通常采用等价类划分法划分有效和无效的数据集，采用边界值法找到被测软件的输入数据的边界值数据。

在产品测试过程中，产品需求决定了测试用例设计，而测试用例设计的效果则直接决定了整个测试的效果，因此测试需求分析和测试用例设计是密不可分的，前者是后者的依据，后者是前者的体现，做好需求到测试用例的转化，才能保证测试效果。

测试的根源在需求，一切测试脱离需求都是无意义的测试，一切不能满足需求的测试就是无效的测试。

1. 既要使用显性的需求规格说明，也要注意隐性的需求

并不是所有的测试所依赖的重要信息都是显性地提供给测试员的，需求规格说明书只是提供了一些显性的用户需求。很大一部分需求是根据规范、标准等挖掘出来的，是对显性需求的补充和完善，是测试的重要依据。

可以从多方面挖掘产品的用户隐性需求，包括竞争对手的产品、相关产品、同一产品的老版本、项目团队之间讨论、用户意见、杂志文章、图形用户界面（GUI）风格指南、操作系统兼容性需求、测试员自己的丰富经验等。

（1）竞争对手的产品充分暴露了其优缺点，以及在使用中出现的问题，可以依据这些来完善产品的用户需求，优化产品功能及性能。

（2）与系统相关的产品在使用中可能出现配合的问题，接口的数据异常问题，这些都是隐性的用户需求，加强对相关产品的了解，可以促进对产品的认识，完善用户需求。

（3）产品的老版本经过一段时间的运行，可能暴露一些问题，对这些问题分析，有利于对用户需求的分析，加速产品的优化。

（4）讨论的过程是对产品熟悉的过程，充分的对产品进行了解，才能了解用户需求，从而设计比较全面的测试用例。

（5）用户意见代表了用户需求，是一种直接的隐性需求，也是最有效的。

（6）杂志文章中一般对产品的技术实现、制约因素、应用情况进行分析，可以从中挖掘用户的隐性需求。

（7）图形用户界面是一个通用的要求，从中可以发现一些经验和局限，这些是属于隐性需求的，在设计中需要进行合理的处理。

产品的隐性需求是需要开发人员和测试人员进行挖掘的，用户不会直接告诉大家的，用户只关心显性的需求，产品的功能实现。

2. 需求变更要及时周知

由于前期对产品功能的认识欠缺和缺乏对现场的充分调研，后期带来的需求变更是比较常见的，有时甚至是致命的，全面颠覆产品的设计。

当需求发生变更时，要把这种变化及时通知到测试组成员，这个看起来执行似乎不会有问题。然而常有这样的状况发生：需求的变化引起程序实现的变化，导致测试过程和更新后的程序不匹配，这种情况的出现频率是非常惊人的。在很多情况下，执行测试的测试人员并没有收到需求变化的通知，这种情况下，就会导致错误的缺陷报告，降低测试效率。因此，需求变更要及时传达，它不仅是高效的测试工作的需要，而且还是决定项目实施效率的关键。

3. 需求阶段：测试人员及早介入

测试人员需要从项目生命周期的早期就开始介入，这样他们能够准确的理解被测试产品及产品需求。测试人员彻底地了解了产品，他们才能够设计出更出色和更全面的测试计划、测试用例、测试过程。

测试人员较早介入，还可以了解到应用程序的哪些功能对最终用户来说最关键及哪儿风险最大。这样有利于测试人员首先把精力集中在最重要的模块，避免对不经常使用的模块测试过

多而对重要的部分测试不充分。另外，从成本上来讲，需求阶段修改缺陷所需的改动最小，需要修改的仅仅是文档。在产品的整个生命周期中，缺陷发现的越早，那么修正缺陷的代价也就越小。

4. 怎么做需求测试

在需求阶段需要对需求本身进行测试。现实中有相当一部分项目的返工是由于需求方面的错误所导致的。并且因为需求的缘故而导致大量的返工，造成进度的延迟、缺陷的增多，这是一件极其痛苦的事情。这就要求我们在项目的源头，也就是需求时就开始测试，对需求进行分析讨论，邀请相关人员对需求进行评审，由于每个人对需求的认识不同，可能出现一些争议，经过讨论，最终达成一致意见。

评审是业界公认的有效的排错手段之一，在需求测试过程当中，使用最多的也是评审。评审可以分阶段进行，根据评审的阶段选择评审的参与人员。

（1）与用户之间的评审一般只是确认，一般也仅限于电话沟通、口头交流等，在设计中需要充分的与用户进行有效沟通，完善用户需求。

（2）公司内部的评审一般是由项目的管理者、系统集成工程师、开发人员、测试人员、市场人员、维护人员组成，根据自己的业务特点，发表自己的意见，在项目开始之初就应当确定不同级别、不同类型的评审必须要有哪些人员的参与，否则，评审可能会遗漏掉某些人员的意见，导致今后不同程度的返工。

测试人员应该对项目总体来看，关注对产品产生不利影响的所有问题，包括各个环节：需求、设计、服务等。这就要求测试人员了解业务整体需求，而不是单独的某一部分。

有时产品的需求文档质量很差，还可能没有，这就需要测试人员考虑一下是否有其他方式能够得到自己需要的东西。例如，用户手册草稿及以前版本的手册、市场人员宣传页和演讲稿、会议等，找出与客户最接近的人、开发小组负责人、客服、技术支持人员等，与他们交流，了解客户最关心什么，通过各方面都搜集资源，完善对用户需求的理解。

实际的文档对分析产品的用户需求是很有帮助的。实际情况下，开发人员是不懈于对文档的整理的，即使整理了，也不详细，还可能存在漏洞和错误，需要综合多方面的因素，依据自己对产品的认识和经验，丰富自己对用户需求的认识。

10.2.2 测试用例设计与方法

在具体的项目中，要灵活应用不同的测试方法。对于业务流程比较重要的系统，首先要考虑用场景法编写流程用例，要求覆盖所有的基本流和备选流。其次需要编写功能测试用例，要求覆盖所有的需求，保证需求的各个功能都能正常实现。

测试用例设计可以采用模块化的设计，将系统功能分为多个模块，对每个模块的功能再进行细化。

根据电子产品的测试类型，测试用例分为硬件测试用例和软件测试用例。硬件测试用例主要依据产品的技术条件和检验细则，产品的技术条件和检验细则中明确规定了产品需要满足的要求及测试方法，可以根据每项测试，确定其测试方法和标准。如果产品没有技术条件和检验细则，可以参考同行业其他项目的测试内容。如以采购合同为驱动的开发项目，可以参考采购

合同中的具体规定设计测试用例。

1）硬件测试

硬件测试用例一般分为绝缘测试、常温性能测试、环境测试、电磁兼容测试、雷电防护测试等，可以以此划分模块，细化每项测试中的电源端口和通信端口，确定其测试方法及要求。

硬件测试中，测试方法是固定的，都是在标准中规定的，设备的布置需要按照标准进行，一般需要对系统的电源端口和输入输出端口进行测试。

硬件测试用例中的预期结果是根据产品需要满足的判据而定的，一般绝缘测试中绝缘电阻不能低于某一限值，绝缘耐压测试漏流不大于某一特定值，无击穿无闪络，环境测试中低温测试一般是要求低温启动正常，功能正常；高温测试的标准是关注正常，功能正常；湿热测试后，系统的绝缘电阻不小于某一规定值。

电磁兼容和雷电测试的性能判据分为四种。A 为在系统性能范围内工作正常；B 为出现性能下降，试验后自动恢复；C 为出现性能下降，需要人工恢复；D 为设备故障。根据要求，设计不同的预期结果。

2）软件测试

软件测试用例相对于硬件测试用例而言，其设计空间是比较大的，主要是根据产品的用户需求和功能进行设计，对每一功能点进行全面的测试用例设计，考虑不同输入条件下的程序输出是否符合预期。

软件测试用例设计时需要考虑多方面的因素，如现场使用人员的业务流程、操作习惯、临界值、行业准则、用户界面、设备维护、故障安全、容错能力、系统接口及现场设备的安装位置等，如图 10.3 所示。

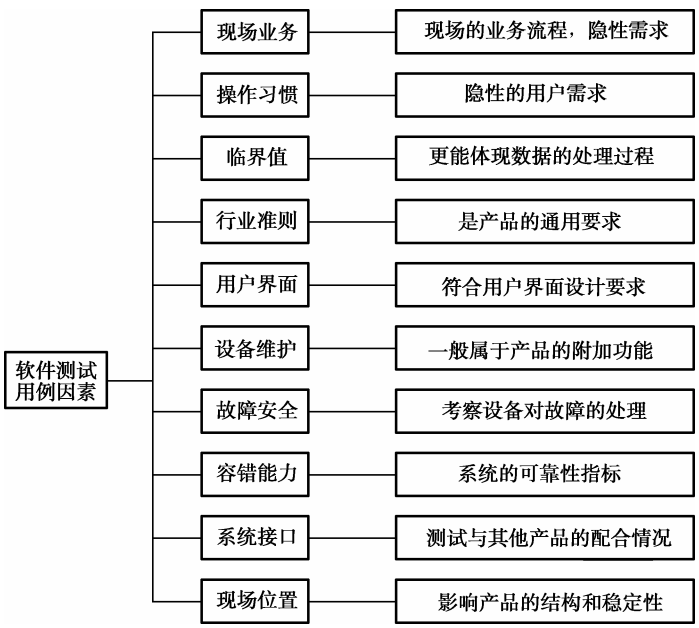


图 10.3　软件测试用例的影响因素

（1）使用人员的业务流程是比较重要的，关心软件在使用中的操作过程，是用户隐性需求的一部分，现场的操作过程及联动机制都是测试用例设计时要考虑的。一切以产品需求为核心，

一切以现场使用为依据。

（2）用户的操作习惯影响产品的使用。一个系统充分考虑了现场用户的操作习惯，可以大大提高使用人员对产品的好感，一个有悖于使用人员操作习惯的系统会带来差评，会不受欢迎，只有符合了用户的习惯，才能使产品得到良好的发展。

（3）一般系统在临界值附近容易出现问题，因此在有数据范围要求的功能中，要选择特定的值进行测试用例设计，应选择两个方向的临界和中间抽几个数据进行设计，在有精度要求的功能中，要在量程范围内，选取尽可能多的点进行测试，这些点在量程范围内均匀分布。

（4）行业准则是一个共性的要求，比如软件行业的“二—五—八”原则，就是一个通用的原则，是针对响应速度而说的，二秒是响应速度比较好的软件，五秒是可以忍受的软件，八秒是不可以忍受的软件。

（5）用户界面是产品的使用操作界面或维护界面，界面中的按钮、指示灯都需要符合行业特点和用户习惯，如在某些行业中，红色代表最高级别的故障，设备正常运行的标志选择红色是不太合适的。用户界面设计还需要符合美观的设计理念，布局均匀，大小合适等，使人看到时比较熟悉，不至于产生怪怪的感觉。

（6）设备维护是现场用户使用的一部分，一些查询记录类的功能和设备故障记录会涉及，重点测试软件的记录与实际情况是否一致，是否出现了多的、少的及错的记录。

（7）故障安全主要是指软件在设备故障时如何处理，是否有记录，是否影响软件其他功能的实现，有故障提示的软件是比较人性化的，可以指导人们去处理问题、分析问题及解决问题，迅速排查故障。

（8）产品的容错能力是指在错误输入数据情况下，系统能否正常工作，是否影响其正常功能的实现。系统良好的容错能力可以提高系统的稳定可靠性。

（9）系统接口是一项基本的功能，一般系统在使用时，与其他系统都有一定的接口，用于信息的交互和资源的共享，在软件测试用例设计时需要特别对待，接口测试主要测试接口数据的正确性，以及设备故障是否影响其他设备的正常工作。

（10）现场设备的安装位置主要影响测试环境的搭建，如果现场设备之间比较远，就需要在测试中采用较长的电缆，重点对产品的长时间稳定性进行测试，一般通信线和信号线在长距离下会出现性能下降，通信的故障率会提高，信号质量会下降。

下面着重介绍一下测试用例的复用技术和优先级技术。

1. 测试用例复用技术

测试用例复用的目的是充分继承以前软件测试中的经验，将已经使用过的测试用例标准化后存档，在未来的测试中进行借鉴或复用，减少设计测试用例的时间，增强测试的效率和可靠性，而不必每次用例设计从头开始，花费比较多的时间。

测试用例复用是把一个软件的测试用例在新的软件测试中使用，或者在软件做出修改时在新的一轮测试中使用，只需要增加在先前测试中考虑不周的项目，以及对容易出现问题的项目重点测试，大大缩短测试用例的设计时间，提高工作效率。

测试用例复用首先要建立测试用例库，将测试用例进行归类存档，以一定的形式保存在测试用例库中，测试用例库需要根据实际情况进行增减和修改。用户需求的变更、产品功能的完善都会引起测试用例的修改，及时修改用例库，提高测试用例库与产品的符合性。



测试执行过程里肯定会发现有些测试路径或数据在用例中没有覆盖一些应用场景，那么在测试用例维护时，将其补充到用例库中，以方便他人和后续版本的测试。很多情况下，是在已有测试用例中寻找具备类似功能的测试用例，通过对其进行继承和修改，渐近式地设计出满足要求的测试用例。

软件测试中用到的测试用例，如果它的开发不涉及已有的任何一个测试用例，那么就可以将其视为一个新的继承用例，具备复用的可能。在新用例实现时，通过一些已有用例的实例，可以加快该测试用例的实现。

1）测试用例库的建立

测试用例库主要用于测试用例的集中管理和使用，需要进行分类整理测试用例。根据测试的实际情况，功能测试按规模分为子模块测试、独立模块测试、集成测试；按测试粒度分为界面测试和业务流测试。

首先将业务功能与通用功能划分出来。

（1）通用功能适合任何一个系统的测试，主要指界面测试和通用功能点测试。界面测试细化为单项数据测试（如控件输入数据检查）和界面检查（如页面布局、标题、颜色等）。通用功能测试指在系统中存在的正常功能的测试，将这些通用功能的测试方法综合出来，结合业务测试用例进行使用。

（2）业务功能测试用例可划分为：基本用例、包含用例（非公共用例）、扩展用例和业务用例四个部分。

① 基本用例表示了一组操作，它是由有共同特征的业务流程抽象出来的，使用时可继承为多个实际用例。基本用例为有独立意义的主体，它对外界没有依赖关系，即基本用例不具有前置和后置条件，它一般被具体化时引入特征条件。

② 包含用例指本身独立的用例，不依赖于任何流程，可独立执行。

③ 扩展用例也是从业务主体中抽离出来的，可以用于多个业务流程。它的特点是：插入引用它的用例中时是有条件的插入，执行完后返回主用例。主用例不依赖于扩展用例，但扩展用例的使用必依赖主用例。

④ 业务用例指具体实现的用例，它可以从基本用例中继承，引用包含用例和扩展用例，也可不与任何一种用例有联系，独立设计，用于测试执行。

2）测试用例维护

测试用例维护是为了减少人工输入的工作量和错误，在回归测试中特别有效，软件的频繁修改使得测试用例也随之进行调整，继承先前测试用例，提高测试的效率。

对需求变更引起的产品软件改进，需要根据变更的需求及与此需求相关的功能对测试用例进行修改，保证测试用例满足产品的新需求。

若产品只是对某功能的完善，那么测试用例只需要进行此功能的调整，分析是否引起新的路径，是否需要增加新的用例。

测试用例库的维护工作是一个不间断的过程，主要内容包括剔除无效的用例、删除冗余的测试用例、修改不受控的用例、添加新的用例。

（1）剔除无效的测试用例。由于新版本的程序在原程序的基础上对功能部分进行了添加、修改、或删除，使用例库中针对这些功能的部分用例变化非常大，已基本不可用，只能删除这些无效的用例，使当前用例集适用当前的版本。

（2）删除冗余的测试用例。由于新版本的不断变动，测试用例集中的用例会在不断地进行添加或修改，可能存在两个或多个用例覆盖到相同的测试需求，这样就存在冗余的测试用例，在回归测试中执行冗余的测试用例，将会影响回归测试的效率，所以应当经常更新用例集，删除冗余的测试用例。

（3）修改不受控的测试用例。在回归测试中，有些为测试敏感代码或特殊功能而设计的测试用例不易运行，难以重现测试，需要对这部分用例进行修改使用例可控。

（4）添加新的用例。在新版本中添加新功能或修改部分功能后，需要设计相应的测试用例实现对新增功能或修改部分进行测试。

通过维护测试用例库，不但可以在选择测试用例的时候抛弃那些无用的，以建立合理有效的测试用例库，而且使得已有测试用例库的有效性得到大大地提高。测试用例库的优化程度直接影响着测试的成本和效率。测试用例作为测试工作的核心和关键，是指导测试执行的依据，反映了测试过程的思想，对它的复用将大大缩短测试用例生成时间，提高测试人员的经验。

2. 测试用例优先级技术

不同的测试用例在检测错误或验证需求等方面的能力不同，如果将测试用例按照一定的准则进行排序，则有利于在较短的时间内检测出更多的错误，提高测试的效率。

测试时会受到资源的限制，采用测试用例优先级可以在有限的资源下运行更多的测试用例，有利于保证产品的质量。测试用例的优先级可以根据产品主要功能、附加功能、影响程度等因素进行划分。产品的主要功能、用户关心的功能其优先级是最高的；一般的功能，影响比较小的功能其优先级为中；最低优先级的测试用例一般是测试产品的附加功能。测试用例的优先级体现了测试中的关注程度，以及测试中的顺序，在资源紧缺的情况下，保证对产品的主要功能的测试。

高优先级的测试用例应该首先被执行，它一般是产品的核心功能；一般功能的测试用例属于中等优先级；附加功能的测试用例可以定性为低优先级。如在一个监控系统中，数据的采集和控制是产品的核心功能，与之相关的测试用例的优先级是最高的，与其他系统接口可以认为是中等优先级，用户界面可以认为是低优先级的。

在进行测试用例设计时，可能遇到各种情况，项目需求文档和开发文档缺失，就需要测试用例设计人员与开发人员、市场人员、用户等进行充分有效的沟通，挖掘产品的需求功能，通过现有文档的分析，找出有用的信息。

理想情况下，用户需求是非常详细、完整的，实际情况下，用户需求可能只是笼统的概述，并没有做到清晰详尽，甚至有些项目是没有需求说明书的。

在测试用例设计时，经常会遇到这样的问题：开发人员的意识不足，开发流程不规范导致没有需求文档；项目进度紧张，后期需求变动较大，来不及书写详细的需求文档或者需求变更；项目是在原有项目上进行迭代开发的，开发人员认为不要再进行需求文档编写。这些因素都不利于对测试用例的设计，可以通过以下几个方面进行测试用例的设计。

1. 坚持开发人员出需求文档

应该坚持开发出需求文档，哪怕是写的不够详细也好，相比之下，开发人员更了解用户现场的需求。



2. 尽量查找已存在的文档和资料

查找文档和资料，从中了解产品的用户需求，比如市场调研报告、可行性分析报告、产品立项报告、开发文档等，收集一切产品相关的文档帮助理解所要测试的产品。如果是迭代项目开发，则需要找到前期项目的一些需求文档、概要设计、详细设计、测试需求、测试用例、测试报告等，从中了解已知产品及其存在的问题，另外，有些项目是以合同推进的项目，合同中包含用户所要求的功能，是编写测试用例的一个重要依据。



3. 加强与其他部门人员交流

可以与市场人员、产品经理、项目经理、开发人员分别进行产品的交流，加强对每个功能点的理解和认识。一方面利于测试人员对产品的理解，综合不同人员对产品的不同角度的认识，同时是让大家对产品达成共识，减少因不同认识引起的争执。

在对产品有了初步了解后，把大致的功能点整理一下，遇到需求不明确的、有疑问的、测试中可能碰到的问题（如边界值、输入数据类型等），有针对性地去咨询项目开发人员。



4. 了解竞争对手的类似产品

了解项目大体框架后，可以在网上寻找同类产品，这样比较容易发现自家公司产品的问题，为测试提供素材和方法，有利于提高测试的全面性。



5. 尽量多参加项目组内的会议

尽量多参加项目组内的会议，例如，需求讨论、设计讨论、计划讨论等会议，尽管不一定有文档，但讨论过程也能让测试人员加深对产品的理解。



6. 与用户确认争议问题

测试人员与开发人员、项目组成员，在需求问题上的讨论有时候观点不一致，各说各有理，这时就需要与用户进行充分有效的沟通，确定哪种需求合理，最后编写测试用例的时候，以最终的结果为准。



7. 召集相关人员，用例评审

测试用例完成后，需要召集相关人员，包括项目负责人、产品负责人、开发人员、测试负责人、项目专家等，对测试用例进行评审，根据意见对文档进行补充完善。经过多次修改和评审以后，测试用例会更加全面。

通过以上 7 个方面和各种手段深入了解产品，测试用例才能更准确，对产品的测试才有意义。

10.2.3　测试用例设计与技巧

测试用例设计非常注重经验的积累，其很是需要经验的。每个产品的测试都会产生一些通用的测试方法，且适合于其他产品项目，通过测试经验的积累，将大大提高后期产品测试的全

面性。

每轮测试后，都需要进行总结，问题出在哪些地方，采取了什么样的方法，这些都是经验，都是财富，在以后的测试中可能会用到。系统之间都有相关性，用户界面和数据类型都可能涉及，测试具有相通性。因此，测试经验的积累，可以在以后的测试中应用，减少重复编写测试用例，提高测试用例设计的效率，加快测试进程。这正是测试用例复用的理念：建立标准的测试用例库，缩短测试用例设计时间，促进测试用例的全面性。

设计测试用例时，需要依据产品的用户需求，按照每条需求进行细化，一个需求可以对应多个测试用例，同样一个测试用例可以考察多个需求。测试用例力求简洁明了，避免烦琐的测试步骤给执行带来障碍。提高执行的效率，进一步提高了测试的质量。

测试用例中每一步操作的执行结果应该是一定的，需要对产品非常熟悉，将产品的功能点划分为多个子功能，分别针对每一个子功能进行设计测试用例，操作步骤比较简单，花费的时间相对也比较短。

一般的测试用例包括功能测试、故障测试、精度测试、型式试验等方面，依据产品的实际情况，进行分类编写。

（1）功能测试用例主要包含了产品的所有功能项。如产品的正常使用功能，其主要包含了产品的显性需求。

（2）故障测试用例是测试在某些关键器件或线路故障时系统的处理情况，或者是热备的系统。一套设备故障时，系统能够做到无缝切换、数据的同步、问题的故障定位很重要，可以明确地指示维护人员进行维修。设备的预警功能也是很重要的，在设备的性能出现异常时，给出预警，提示维护人员提前进行处理，做到防患于未然。这部分的测试也是包含在故障测试之中的。

（3）精度测试用例是指在产品需求中有明确的要求，如模拟量、响应时间等，需要在设计测试用例时进行特别的设计。模拟量测试一般是按量程的四等份进行分别测试的，响应时间的测试考虑事件的触发条件和结束时间。

（4）型式试验一般是指产品硬件测试方面的内容，包括绝缘测试、常温性能测试、环境测试、电磁兼容测试、雷电防护测试等，按照产品的标准、规范、技术条件等进行测试用例的设计。按照规定的测试方法和标准进行设计，可以根据实际情况，对标准适当的提高，留一些余量，标准中的规定是产品需要满足的最低要求。

根据产品的功能和需求，把测试用例分为不同的优先级，有利于实际测试对重点的把握。容易出现问题的地方优先级也为高，尽可能地发现设计缺陷，现场反映的问题也应该进行重点测试。

优先级的技术适用于在资源比较紧张的情况下，采用有限的资源进行相对全面的测试，优先级的高低也帮助测试人员在执行时进行适当的侧重，发现尽可能多的设计问题。

有时会遇到这样的情况：系统的附加功能或非重要的功能出现了太多的问题，影响了整个测试进程，而且有时这些问题不太容易修改，这就需要进行合理的取舍了，对问题的影响方面进行分析，是否影响主功能的实现，这中间也体现了优先级的概念。

有些问题可以通过操作说明书进行合理的避让，可以用规范来保证系统的稳定可靠运行，用规范来减少系统出现问题的概率，所以在测试用例设计时，需要参照产品的操作手册，有些情况是在操作手册中避开的。



测试用例需要根据实际情况不断地进行调整和修改，在测试过程中可能发现测试用例中不全面的地方，或者是遗漏的测试项目，及时补充到测试用例中去，不断修改测试用例，这是测试用例细化和完善的重要过程。

测试用例是不可能在设计阶段全部完成的，因为可能存在没有想到而遗漏的地方，而且可能存在一些偏差，这些问题在测试过程中会逐步被测试人员发现，应该及时地将这些测试用例添加到用例库中，使测试用例完善。

针对产品的任何一个可测试点都要设计。对现场发现的缺陷，要及时的作为测试用例添加到用例库中。现场的问题是很重要的，其代表了系统产品在现场真实的运行情况，可能是与其他系统的兼容问题，也可能是现场其他设备的干扰引起的，现场问题的搜集有利于提高实验室测试的质量，有利于产品的改进。

一般测试用例中应包含以下要素。



1. 用例编号

一般测试用例中对每个测试用例都进行分类编号，便于统计和引用。有时会出现这样的情况：在设计一个测试用例时，需要引用其他的测试用例。此时不必将引用的用例罗列在此，只需要引用其编号即可，简洁明了。



2. 对应需求

对应需求用来描述测试用例所验证的具体需求。通常情况下，一个需求用例与多个测试用例对应。典型的情况是一个测试用例用来描述正常工作流情况，另一个或多个测试用例则用来描述异常处理工作流。

对应需求项的设计可以用来帮助检查测试用例与需求的符合情况，避免遗漏某些需求，使测试用例比较全面。



3. 测试目的

在测试目的这个要素中，要对该测试用例的测试内容进行简单的描述，以便让测试人员能够很快地对这个测试用例有个大概的了解。

测试目的对应的是产品的功能，可以帮助测试人员对测试结果的把握，在测试中时时记起测试目的，有利于发现测试中出现的问题。



4. 优先级

测试用例根据对应的需求划分不同的优先级，在测试中进行合理规划测试过程。

优先级的高低体现了测试用例的重要程度，提示测试人员进行关注，有利于加强对产品主要功能的测试。



5. 前置条件

前置条件主要用来描述执行该测试用例前需要满足什么条件。也就是说，产品满足了前置条件以后，才能进行此项测试，前置条件主要描述与测试项相关联的条件。

6. 测试方法与步骤

测试方法与步骤给出了具体的测试方法和步骤，以及进行测试的标准。

测试方法与步骤是测试执行的依据，清晰的方法与步骤有利于测试的执行，提高测试的效率。

7. 预期结果

预期结果描述的是该测试用例执行之后预期的结果，该结果是验证需求是否通过的标准。预期结果是通过分析需求而得到的，是在设计测试用例时根据实际的需求事先推导出来的。

预期结果可能存在偏差，需要根据实际情况进行调整。

8. 基于测试记录的附加项

一般基于测试记录考虑，在测试用例中还包括实际结果、测试结论、测试人、测试时间、备注等要素，便于在测试中进行记录。

这些要素是在该测试用例执行后根据测试的具体结果来填写的，其结果有通过、不通过、不可测、跳过等。如果测试用例执行失败，需要详细记录测试问题缺陷。

10.2.4 测试的不确定性

由于测试受多种因素的制约，加上人们对测试的认识偏差，不同测试人员对同一系统的测试结果可能不同，产品系统的测试与设备的布置、配置、操作步骤、用例的先后顺序及测试过程中有效的探索，使得测试具有不确定性。

测试人员的能力是影响测试质量的主要因素，测试对测试人员各方面的要求是比较高的，需要具有探索能力、协调能力、决策能力等。

理想的测试过程是可控的，实际情况下，许多的人并不关心过程，只重视结果，使得测试持续时间比较长，重现性差，每次测试都有新的问题出现。

在测试中往往“重操作、轻管理，重结果、轻过程”，使测试的质量得不到保证。正如许多专家所指出的：“产品发展的主要问题是管理问题，而不是技术问题。”究其原因存在以下四方面的情况。

1. 测试的立场

测试的目的是最大限度地发现产品存在的错误，而不是为了证明产品没有错误。测试应该站在用户立场，采用“攻击”的手法去测试产品，但是有些企业往往为了争取进入市场的时间而站在开发者立场去表明产品没有错误。

测试的立场是很重要的，间接地指挥了测试人员的活动，有些隐藏的问题往往是只差一步之遥，如果再深入测试一点，问题就可以被发现。

树立正确的立场，有利于在测试中发挥主观能动性，发现更多的产品设计缺陷。



2. 测试人员的素质

测试在很大程度上依赖测试人员的个人经验，有经验的测试人员知道测试步骤不同产生的结果是不同的，在不同的场景中其执行结果也是不同的，所以在测试中就会制造不同的测试场景来验证产品的执行的效果。

测试的整体素质不高是企业的管理体制决定的，认为每个人都可以做测试，不同的人员都汇集在这里，参差不齐，不注重测试技术的提高。

加强对整个测试团队的技术培训，提高测试人员的素质，有利于提高测试产品的质量。



3. 测试的过程

测试过程与开发过程一样，应该进行过程设计。在实际情况中，测试往往是没有一定的流程，如测试没有计划，随机进行；测试用例随时构想，没有事先设计。更谈不上对测试过程进行监督了，由此引发的结果是测试过程失控。

测试需要按照测试计划进行，首先设计测试用例，评审用例，通过评审后，再进行具体的测试工作，在测试过程中，需要进行监督，随时掌握测试的进程与测试的问题。



4. 测试的结果

测试的结果，特别是测试中发现的缺陷应该能够重现，为产品的维护和改进提供依据。测试过程中应详细地进行测试记录，特别是出现问题的情况，要记清楚问题的牵引和后果，对出现问题的前置条件和顺序进行详细的阐述，以提高问题的复现性，利于对产品的改进。

详细的记录缺少使测试结果缺少依据，使测试的问题缺少针对性，无法对测试结果做出合理的判定，也无法使开发人员信服，以至于耗费大量的时间来处理问题。

综上测试的不确定性，我们在设计测试用例时，要充分考虑这些因素，积极规避不良因素，使测试尽可能的全面，最真实地验证产品的质量。

10.3 小结

测试用例是一切测试的基础，整个测试过程是按照测试用例有序进行的，避免盲目地随机测试，有利于对测试过程的管理和控制，保证测试的质量。

测试用例是测试方法、测试标准、测试策略等的具体表现，测试用例融合了测试用例设计人员的思路、想法及思想，是对产品用户需求最全面的覆盖。

测试用例是对产品质量的充分验证，用户的各种需求应包含在测试用例中，测试用例设计需要综合现场、使用人员的素质习惯、行业的标准规范等多方面的因素。

测试用例可以全面验证产品的功能和性能是否满足用户的需要，它包含用户的各种操作，有可能是非法的操作，进一步验证产品的容错能力。

测试用例设计需要参照产品的现场调研报告、技术条件、行业规范、市场情况、用户需求等，设计各种产品工作场景，依据各种测试设备，模拟现场。

现场调研报告包含现场的实际情况、安装的位置及布线、周围电磁干扰情况、电源的情况

等，这些都是影响产品设计和测试的因素。

产品的技术条件中规定了产品需要满足的技术要求及测试方法，是根据同类产品的要求和现场的实际情况总结出来的。

行业规范是隐藏的因素，是独立于产品之外的，容易被忽略，在搜集产品的标准或要求时，应该把规范好好看一下，内部可能有某些限制。

市场情况是考虑同类产品的运行情况及产品市场饱和情况，同类产品的优缺点可以作为产品的测试项，设计在测试用例中。

用户需求是最基础、最真实的信息，代表了使用人员的意愿，在测试用例设计中应充分进行关注，进行细化分解。

测试用例设计人员应尽早介入，参与项目的需求讨论，需求变更需要及时周知，需求是产品的根源，一切都是以用户需求为基础的。全面地分析用户需求，有利于设计比较全面的测试用例。

通过各种途径挖掘产品的需求，保持与开发人员、用户、市场人员等进行有效沟通，分析产品的隐性需求，设计测试用例。

测试用例的设计需要一定的经验，测试用例复用是一种比较好的方法，通过优先级的划分，使测试可以对重点的功能和需求进行重点测试，不至于产生大的隐患。

测试需要积累，需要针对每次测试进行总结，总结测试的经验和教训，总结成功的测试方法，总结合理的测试步骤，保证测试的顺利进行。

测试具有一定的不确定性，只有充分认清楚这些不利因素，合理避让，才能使测试达到很好的效果。

第11章

测试执行与结论

本章主要介绍测试执行、测试记录和测试报告，分别从测试执行策略、测试记录与判定、测试报告与结论方面介绍测试执行与结论的相关技术。

测试执行是测试活动的具体实施阶段，测试需要的各种资源满足条件后，才可以进行测试执行活动。

测试执行是测试计划与测试用例的具体实施，需要保持积极的、敏感的态度进行测试，可以进行一些探索测试，完善产品的测试。

测试执行过程中需要对测试记录进行整理，特别是有问题的测试项目时，需要记录清楚操作步骤及每步操作的表现，便于问题的复现，利于问题的原因查找与解决。

测试执行完成后，需要整理测试报告，对整个测试活动进行总结，描述测试对象及目的，简述测试过程，重点阐述测试问题及结论。

测试执行过程需要根据不同的测试对象采取不同的测试策略，受产品设计的阶段、风险、用户需求的影响，合理安排测试。

一般情况下，测试过程中出现的任何不符合预期的问题都是问题，可以对这些问题进行分级，根据影响程度，确定问题的等级。

测试结论是根据测试中出现的问题情况及用户可以接受的条件等因素进行判定的，测试中不允许出现影响用户需求实现的功能问题，否则测试是不通过的。

本章节将重点介绍测试执行、测试记录、测试结论相关的技术。

11.1 概述

测试执行是测试活动的具体实施阶段，只有测试条件满足后才能进行，测试执行活动依赖于测试计划和测试用例的质量。测试计划和测试用例可以认为是测试执行活动的准备阶段，其有效性和准确性影响到测试执行的效果，进而影响测试整体活动的质量；测试记录可以认为是测试执行活动的产物，是在测试执行过程中根据测试执行的结果整理出来的。需要及时整理测试记录，否则可能遗漏某些现象的记录或出现测试记录的偏差；测试执行完成后，需要根据整体测试情况，整理测试报告，重点描述测试中出现的问题及理论。

11.1.1 测试执行与结论基础

测试执行是执行所有测试用例或部分测试用例，并对结果进行分析的过程，其依据测试计划和测试用例进行测试。测试执行需要满足一定的前提条件，就是产品的软硬件设计已经完成并定稿，测试计划和测试用例已经通过评审批准，测试环境已经搭建调试完毕，这些条件满足后才可以进行测试执行活动。

有效的测试计划是指导测试用例设计和测试执行的指导性文件，是成功测试的前提和必要条件，测试用例设计是测试工作的核心，测试用例的成功设计已经完成了一半的测试任务，但是测试的执行是基础，是测试计划和测试用例实现的基础，严格的测试执行才能保证测试工作的质量。测试执行是根据测试计划的安排，按照测试用例的步骤进行测试，观察验证每一步操作的执行结果是否与预期结果一致，查看产品的操作日志、系统资源情况，确定测试用例是否执行成功。

测试执行不是简单的“是非”判断，是从多方面考察产品的执行情况，是否便于使用，是否以客户需求为中心，是否稳定可靠，是否融入了客户的思想，一个产品处处为客户着想，它必定是一个受客户欢迎的产品。

一个产品实现了用户需求，但是操作很烦琐，那么客户在使用时会有抵触的心理，不利于产品的推广，在测试执行时，测试人员需要站在客户的立场上进行，真实体验产品带来的效率和便利，从而测试出真正的产品质量。

测试执行的主要目标是尽可能地发现产品的缺陷，而不是达到测试计划完成率。如果过于关注测试计划完成率，而不重视测试执行的质量，将会导致测试完成后仍没有信心，需要重复测试，从而造成测试进度的延迟，影响产品的开发进程。

在测试执行的过程中要保持积极的敏感的态度进行测试，这样有利于发现产品的缺陷，有时离缺陷仅一步之遥，缺陷有可能被隐藏了起来，以至于在某些条件满足的情况下，集中爆发，可能使产品崩溃。

不要怀有“急功冒进”、“教条主义”的态度进行测试，因为这样测试是不全面的、质量是得不到保证的。一味地为了完成测试计划，在测试过程中仅关注测试用例的执行结果，忽视执行过程及出现的各类异常现象，如告警、日志等信息，将会遗漏很多的设计缺陷，测试的质量也无法得到保证。

“教条主义”的态度也是不可取的，机械的执行测试用例，缺乏发散型思维和逆向思维，同样也会错过发现隐藏缺陷的时机，不利于发现测试问题。

测试执行时，测试人员不要在疲劳的情况下进行测试，也不要连续进行测试，人在这种状态下思维是迟钝的，测试的效果是不理想的，因此在测试中需要对心态、情绪进行调整，一段测试之后，进行充分的休息，不是在浪费时间，而是为了更有效地测试。“连轴转”的测试是不可取的，只能是机械地在执行测试用例。

测试用例设计得很完美是不可能的，有些情况在设计时，并没有考虑到，这就需要在测试过程中进行及时的补充，如果机械地执行测试用例，势必会遗漏一些情况的测试，影响测试的全面性。

所谓的“探索测试”就是没有计划，没有用例，凭借自己的经验，针对可能出现问题的方



面进行测试，很大程度上依赖于测试人员的经验。

在测试执行过程中，有时会出现突然闪现在脑海中的方法情况，需要及时地付诸行动，使之转化为有效的测试用例，这些想法是不会轻而易举出现的，是基于测试场景、测试人员状态、心态等多种因素而来的，应得到珍惜，这也是自己提高的过程。

在执行测试之前，测试人员需要对产品的功能和用户需求进行充分的了解，只有对产品充分的熟悉，才能测试好产品，才能在测试过程中对测试的现象进行明确的判断，不容易遗漏某些设计缺陷。

如果条件允许，产品的测试人员应跟随项目设计过程，充分参与产品的需求分析和方案讨论，这样在测试执行过程中，才能立足于产品，基于需求，超越产品，进行高效可靠的测试，保证测试的质量。

11.1.2　测试执行与测试记录

测试执行过程中离不开测试记录，测试记录是测试执行过程中留下的足迹，特别是在测试BUG 出现的时候，测试记录显得尤为重要，测试记录是测试 BUG 再现的重要资料，此时的测试记录是需要详细记录出现 BUG 之前的操作步骤及产品的表现等。

测试记录领导一般是不看的，他们只关心测试结果。在出现问题的时候，设计人员是要看测试记录的，通过测试记录再现测试问题，再进行解决。

测试记录是测试报告的支撑，所有测试报告的结论来源都是通过测试记录得到的，对其关注的程度，没有测试报告高。测试记录不及时、不详细，都会带来很多的问题，如测试 BUG 无法再现，测试结论无法确定等。

测试记录是测试执行的直接输出文件，其详细记录了测试执行过程中产品执行结果的原始数据、状态、告警及其他现象，是测试执行的过程文件，需要及时整理。

不要为了赶进度，在测试结束后才集中整理测试记录，测试环境已经今非昔比，缺陷现象无法描述的非常详尽，还可能遗漏某些细节，不利于测试人员对问题的解决。

测试执行过程中，一定要加强测试过程记录。如果测试执行步骤与测试用例中描述的有差异，一定要记录下来，作为日后更新测试用例的依据。

在测试执行过程中对每项功能测试时，不要仅仅关注产品的执行结果，对产品的日志文件、记录等相关信息也需要进行确认，查看有无异常，及时确认测试问题。如果在后期才发现有问题，当时的场景已经记不太清楚了，还需要模拟当时的场景，问题还可能不复现，需要浪费很多的时间和资源。

测试记录一定要如实客观地记录，不要附加自己的主观意识，有些问题不是自己认为的那样，否则影响设计人员对问题的分析与判断。

测试记录可以根据实际测试情况，有详有略，在针对执行正确的测试项时，简略地记录一下测试结果，而在针对执行出现异常的测试项时，需要详细地记录测试的步骤及每步操作产品的执行结果和表现，有待于设计人员的进一步分析。

测试记录一般包括目录、测试步骤、执行结果、测试结论、测试人员、测试时间及备注等信息，这些信息都是原始数据，测试记录过程中不进行统计和计算，一般在测试完成后进行测试用例执行情况的统计及相关的计算。

（1）目录可以很方便地查看具体的测试记录，一般带有超链接设置，可以根据需要查看某些测试项的记录。

（2）测试步骤是依据测试用例中的步骤而进行的，测试用例在设计时，已经充分考虑了产品执行的各种情况，可能已经进行了实际的操作，当然也可能由于时间仓促等原因存在出入，在执行时，应及时与用例设计人员沟通并进行调整，以完善测试用例。

（3）执行结果是针对测试步骤中每一步的执行结果，任何不符合预期的现象都应该被记录，包括缺少和多余的预期结果，操作还可能引起其他功能的异常，这些也是需要进行记录的，因为这些地方可能隐藏着设计的缺陷。可以采用抓屏的方式获取当时的截图，也可以录制视频，作为最直观的原始记录，提交给项目开发人员，有利于问题的定位与处理。

（4）测试结论是根据测试的执行结果来判断测试项是否通过测试，这里的测试结论也是针对测试项的，与测试报告中的测试结论不同，测试报告中的测试结论是对整体测试活动的总结，根据所有执行情况而得来的。

（5）测试人员是测试执行的人员，每个测试用例可能参与的测试人员不同，对测试人员的记录有利于对测试问题的跟踪。

（6）测试时间可以用来考察测试用例设计的准确性，完善测试用例，还可以对整个测试活动进行评估，了解测试执行的整体情况。

（7）备注信息主要是在测试过程中需要记录的其他信息，如附加的说明、需要参考的资料、环境条件等，描述的是当时测试的情况，有些测试与环境参数影响很大，如绝缘测试在标准中规定是在大气标准环境条件下进行测试的，备注信息是测试记录的补充。

测试完成后需要对测试执行中的原始数据进行统计和计算，对测试执行测试用例的情况进行统计，包括：执行用例总数、通过用例数、不通过用例数、用例通过率、未执行测试用例数及汇总信息，便于测试的负责人员了解测试的整体情况。

测试记录中的计算主要是指需要通过计算才能判断是否符合设计预期，如采集的精度、效率等。测试记录需要注意描述语言的简洁性，直接描述问题的所在，避免造成歧义，不需要华丽的词汇，只需要通俗的语言。

11.1.3 测试执行与测试报告

测试执行完成后需要整理测试报告，测试报告是整个测试执行活动的总结，阐述测试的过程及发现的问题，对测试用例的执行情况进行描述，说明未测试项及其原因，说明测试对象、软硬件配置及结论。

测试执行过程可能由于某种因素的变动，使之偏离了测试计划，需要总结一下测试的进度及影响因素，积累测试经验。

测试报告用词要准确，表述要清晰。测试人员需要具有良好的语言表述能力，能用简洁的语言描述测试的过程及发现的问题，可以使用合理的措辞，客观的展现测试结果，使测试报告有良好的可读性。

测试报告设计中，还包含与设计人员的沟通，也就是问题确认，一些具体的问题需要设计人员的解释，最终再进行判定，沟通可是需要技巧的哦，可能会引起争论的，还可能出现争吵，保持良好的心态，做到有效的沟通。

测试报告包括测试对象、测试目的、测试依据、测试环境、测试仪器工具、测试过程、问题及建议、分析与结论及相关记录等，还包括历次测试的 BUG 统计，是用来考量设计人员的。

（1）测试对象是对被测试设备的描述，包括软硬件版本、主要的功能及采用的关键器件，需要准确的描述这些信息，因为测试依赖于测试对象，测试对象发生改变，测试的执行结果可能就有所不同，脱离了测试对象的测试是没有任何意义的。

（2）测试目的描述的是本次测试执行的目的，测试目的不同，对产品测试的范围有所不同。对于产品发布测试，需要对所有的测试用例进行执行；对于现场验收测试只需要进行用户关心的功能进行测试，对与用户需求相关的测试项进行测试；型式试验是不需要进行测试的。

一般的测试目的有产品版本发布、单元测试、系统集成、软件评审、认证测试、现场验收、成果鉴定等，根据测试目的的不同筛选测试用例。

（3）测试依据是产品的标准、技术规范、特定要求、行业准则，也可以是依此而设计的测试用例，测试用例在设计时，充分考虑了这些要求，并进行了细化，还考虑了一些通用设计、规范、用户的隐性需求等，测试用例是对测试依据的全面体现。测试依据是测试的基础、根源，所有的测试都可以从这里找到要求。

（4）测试环境描述的是系统产品的软件、硬件配置及系统的结构图，清晰地展现了系统产品的组成及内部通信连接方式。界定了产品的测试范围及模拟设备。

（5）测试仪器工具主要描述的是在测试过程中用到的测试仪器、工具，需要明确测试仪器的型号及规格，不同型号和规格的仪器进行测试其结果可能不同，测试结果是在特定的测试对象、特定的环境、特定的测试仪器下产生的，测试结果依赖于这些因素。

（6）测试过程是对测试人员、测试日期、测试地点及整个过程进行描述的，测试人员主要是说明测试的负责人和参与人员；测试日期是说明测试过程的起止时间；测试地点是进行测试的地点，有时需要在几个实验室中进行测试；测试过程的描述是简要地对测试的顺序进行描述，也可以对测试中出现的异常情况（一般影响测试进度或中止测试的情况）进行描述，使领导对测试过程有一个整体的了解。

（7）问题及建议是测试报告的重点，需要详细描述测试执行过程中出现的问题，描述问题的严重程度，可以分别从硬件问题、软件问题和文档问题方面进行描述，问题可以根据影响程度分为不同的级别。建议可以是系统功能的完善和优化，也可以是比较成熟的安全保证。问题描述是开发人员重现问题和定位问题的依据。问题描述应该包括当时的场景、输出信息和产品表现，这些信息帮助开发人员确认问题，加快对问题的处理。

（8）分析与结论是对测试执行过程中出现的问题进行统计，明确问题的分布情况及需要处理的问题，还需要对测试用例的执行情况和通过率进行统计，用以了解测试的整体执行情况和出现问题情况，指导下一步的测试工作。结论是通过对问题的分析，依据测试通过的条件，综合考虑而得出的，结论依据于产品的测试问题，测试问题是结论的数据支撑。

（9）相关记录包括测试执行过程中的测试记录及原始数据表，这些都是测试过程中的基础资料，是测试结论的依据。

测试报告是测试阶段最后的文档产出物，一份详细的测试报告包含足够的信息，包括产品质量和测试过程的评价，测试报告基于测试中的数据采集及对最终的测试结果分析。测试报告是把测试的过程和结果写成文档，并对发现的问题和缺陷进行分析，为纠正产品存在的质量问题提供依据。

11.2 测试执行与结论技术

测试执行要求对测试过程进行控制，控制测试的进度和测试的质量，以及根据测试问题情况进行测试策略的调整。对测试的过程应该有监督机制，通过对过程文档的监督控制测试的质量，通过测试记录、测试数据、测试报告及测试总结保证测试过程的完整性及质量。

测试执行过程中需要保持对问题的敏感性，若前期问题处理不彻底，会为后来带来很大的麻烦和隐患，会在某种条件激发后爆发。如果此问题在测试阶段没有测试出来，将会对现场使用产生很大的影响。

测试记录需要完整记录产品的执行结果，详细记录出现问题时的情况及操作步骤，对每一种细节都要记录清楚，便于设计人员对问题的分析与处理。测试记录是判定的依据，是判定的基础数据。

测试记录是测试过程中输出的一份重要文档资料，通过对测试记录中的问题进行分析，来判定测试项的结论。

测试报告是测试完成后整理的，是对整个测试活动的总结，结论是测试报告中重要的一项内容，是通过对测试问题的分析，依据测试通过判定的原则得出的。

测试报告是提交给开发的一份正式文件，测试出现的问题与结论是重点关注的对象，因此需要清晰地描述出来。

11.2.1 测试执行与过程

测试执行过程是记录原始数据及报告产品缺陷的过程，在测试执行过程中，需要及时记录每一步操作的执行结果，报告产品的缺陷。进行每个测试项测试时，需要根据前置条件进行测试环境的布置，以达到测试项的测试条件。测试执行过程中需要注意各种状态信息和与之相关联的状态是否一致。一般情况下，一个信息可能会被多个模块使用，可能参与多个判断，测试要保证各个模块的显示和判断都正常。

执行测试之前，需要使测试环境保持初始状态，需要从产品的开始上电开始，有些设备在上电时，对信息的处理存在问题。从初始状态开始测试，可以更多地发现与用户要求不一致的问题。

测试过程中可能遇到影响测试进度的问题，这时需要及时调整测试策略，调配资源，保证测试的顺利进行。如遇到人员变动，应及时调集合适的人来参与测试；遇到实验设备资源紧张时，要与其他部门进行协调，以争取测试按期进行。

测试执行过程中，测试人员之间与项目组之间需要保持有效的沟通，如每周例会，可以及时发现测试中的问题，对于发现的问题需要及时与设计人员进行沟通确认，这样有利于问题的修改及处理。一般建议两个人一起进行测试，可以互为补充，首先提高了测试的效率，其次也可以互相监督，保证测试用例的可靠执行。

两个人参与测试时，一个人可以去制造各种条件，而另一个人则进行操作，重点关注执行结果，这种分工配合提高执行的效率，且通过对测试问题的讨论，可以提高测试的质量。

理论上，在每项测试前后是需要进行功能验证测试的，通过在测试前后和测试过程中，系统可能出现的异常表现，才能判断是否是该项测试造成的，才能做出该项测试是否通过的判断。实际上，我们是在进行下一项测试的时候，顺便把功能给验证了，节省了测试时间，在一些检验部门，有时是比较严谨的，在进行每类测试前都是需要进行功能测试的，多次的测试可能会发现隐藏的设计问题，对产品而言是比较好的。这就要求我们在设计时，需要充分考虑各种情况，进行全面充分的设计，比如缺相报警，需要在产品设备的各种工作状态下都能进行报警，不管是有负载输出，还是空载输出，都需要进行报警。

测试在执行过程中，考虑测试设备的差异，可以对测试指标进行提高测试，但不可随意提高，应稍微留有余量即可，随意提高测试标准，对产品来说是致命的，一旦超过其承受程度，就会造成损坏。

在测试过程中，遇到重大问题（必须更改的问题）时，可以停止测试，等待下一轮的测试。一般系统第一次测试需要完完整整地测试一遍，发现系统中的问题，再次进行测试时，首先对BUG 进行验证测试，然后再进行全面测试。

每次进行测试的时候，对 BUG 验证之后，需要对系统进行整体的测试，测试最忌讳“想当然”，不要只是想，都要用测试来证明。

遇见问题时需要进行分析，查找原因，大部分问题都是在深究时出现的，异常情况就需要说个明白，反复验证，不然可能会放过很多问题，对设备在现场使用产生很大的隐患，且对设备的推广产生负面影响。

测试执行过程中，当测试的实际输出结果与测试用例中的预期输出结果一致的时候，是否可以认为测试用例执行成功了？答案是否定的，即便实际测试结果与测试的预期结果一致，也要查看软件产品的操作日志、系统运行日志和系统资源使用情况，从而来判断测试用例是否执行成功了。全方位观察软件产品的输出可以发现很多隐蔽的问题。

一般的测试过程是两个分支的过程，如图 11.1 所示，测试用例分配后，有具体的测试人员进行执行，执行过程中可能产生一些缺陷问题，如果发现重大缺陷（影响产品使用、安全的问题），则测试中止，转入下一轮测试，如果没有发现问题，则继续执行测试用例，最终提交测试记录及测试报告。

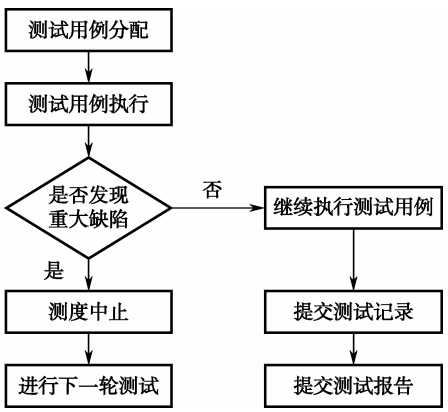


图 11.1　测试的执行过程

测试执行过程中，如果确认发现了软件的缺陷，那么可以毫不犹豫地提交问题缺陷。如果发现了可疑问题，又无法定位是否为产品缺陷，那么一定要保留现场，然后通知相关开发人员到现场定位问题。如果开发人员在短时间内可以确认是否为软件缺陷，测试人员则给予配合；如果开发人员定位问题需要花费很长的时间，测试人员千万不要因此耽误自己宝贵的测试执行时间，可以让开发人员记录重现问题的测试环境配置，然后，回到自己的开发环境上重现问题，继续定位问题。

测试执行过程中，应该注意及时更新测试用例。往往在测试执行过程中才发现遗漏了一些测试用例，这时候应该及时地补充；往往也会发现有些测试用例在具体的执行过程中根本无法

操作，这时候应该删除这部分用例；也会发现若干个冗余的测试用例完全可以由某一个测试用例替代，那么删除冗余的测试用例。

测试执行的过程中及时地更新测试用例是很好的习惯。不要打算在测试执行结束后，统一更新测试用例，如果这样，往往会遗漏很多本应该更新的测试用例。

11.2.2 测试记录与判定

测试记录可以保证测试工作的可追溯性，记录测试人员的工作情况及绩效考核的重要数据。测试记录是判定的依据，测试完成后，对测试记录中的问题进行分析，分析其影响大小及程度，从而依次来进行判定。

测试记录是测试判定的依据，本项测试是通过测试执行过程中的问题情况而判定的，测试记录是测试执行过程中的产品表现和执行结果，必须如实地进行记录，才能保证进行合理的判定。

测试人员要求具有丰富的阅历，能从多方面考虑测试产品，能站在不同的立场上综合考察产品的性能，对产品进行合理的测试，综合判定某一项的测试结论。

测试记录中的测试结论是指某一项的测试结果，是针对某项测试用例而言的，是测试执行结果是否符合预期结果的。

测试记录中的相关信息可以帮助设计人员确认问题，帮助查找问题的处理方法，以提供准确的信息，测试记录中可能遗漏了某些细节，通过与操作人员的沟通，可以发现这些现象，有利于对问题的分析。

测试记录要求详细记录测试中的问题，实际情况下，可能会由于各种因素遗漏了某些细节，使得测试问题分析困难，只能通过已有的记录去分析过程，寻找处理问题的方法；测试记录要求详细记录测试中的异常问题及操作过程，否则影响测试问题的处理，影响测试的判定。测试记录中的问题直接影响着测试项的判定，对问题的描述需要清晰，避免产生异议，对其影响程度有必要进行客观的分析，以帮助对测试结论的判断；测试记录还需要记录产品执行的中间过程，有时可能中间出现异常，而结果是正常的，这些问题在执行过程中，隐蔽性强，但同样是需要进行修改的。记录中间过程，有利于对问题的分析与解决。

测试记录是判定的依据，是判定的数据支撑，判定是测试记录的总结，是测试问题的分析结果，在测试执行过程中，测试记录是第一手的原始数据，是后期分析的基础，做好测试记录，才能保证后期的分析准确，进而保证结论是可信的。

11.2.3 测试报告与结论

测试报告是测试完成后需要提交的一份总结，包括对测试过程的描述、产品缺陷情况及结论。测试结论是依据测试通过判定的原则作出判定的，一般的测试判定原则对测试的问题缺陷进行分级，各类缺陷规定了不能超过的个数，如果满足判定原则就可以判定为通过。

测试问题的分级一般是依据问题的严重程度和影响大小进行分级的，在测试中需要对测试问题进行分析，以合理的划分等级，得出合理的结论。有些测试是不用下结论的，比如是一个必须通过的项目，只需记录问题就可以了。通过讨论评审，确定是否修改，若需要修改，还需



要进行一轮新的测试，直到未发现影响测试通过的问题为止。

结论是依据测试过程中发现的测试问题而来的，出现了影响用户使用、检测错误、处理错误等问题，其结论是不通过的，需要整改进行下一轮测试，在进行下一轮测试时，需要汲取上一次的测试经验和测试方法，逐步使测试更全面。

测试要求从开始到结束，要求没有经过任何的更改，一旦更改，就需要重新进行测试，这是因为产品的修改对测试结果的影响无从查知，只能重新进行测试，有些是可以评估出来的，而有些是无法评估的。

在测试过程中，不管只是产品配线的改变，还是设备的更换，都需要按照标准及技术条件进行一遍测试，任何的改变都可能引起设备的性能发生变化，只能通过测试来验证。

还有一点值得说明的是，如果是用于认证测试的产品设备，若出现问题，最好更换新设备整改后进行测试，以保证认证测试的顺利进行。尽管这样耗费了更多的资源，但是提高了测试通过的概率，降低了测试的风险。

一般情况下，测试后的设备是要降级使用的，可以在实验室使用，试验后的设备是不允许在现场使用的，因为在测试时，有可能对设备有一定的损伤，又不至于表现出来，所以在现场使用是存在隐患的。

测试完成后，应该集中精力对测试中遇到的问题进行汇总总结，分析这些问题的原因，总结测试方法，检查这些方面的错误，对下一轮测试工作的开展有很大的借鉴意义。人的思维是有局限性的，对思考的问题存在一些局限，在执行中也存在一定的盲区，有效的自我分析和分析测试过程，有利于自己测试技术的提高，拓宽自己的视野。

每次测试执行过程中，都会或多或少的有一些新的发现，可能是一种思考问题的方法，也可能是一种测试处理逻辑，这些都可以作为经验而被积累起来，当然也可能存在一些教训，可能造成设备的损害或测试的延期，也需要把教训总结出来，认证思考，避免以后再犯同样的错误，这也是个人提高的表现。

测试的总结可以为设计提供处理问题的方法，促进产品的完善。产品日益微型化，使得存在的问题增多，空间的缩小使得产品的绝缘问题严重，产品故障率提高，需要保持电源与其他器件之间的距离（特别是外壳为金属的器件），否则可能引起放电现象。

测试是一个逐步提高的过程，敏捷的思维可以帮助进行全面的测试，责任意识可以提高对产品的重视程度，用心做测试，才能把测试工作做好。

11.3 小结

有了测试用例和测试计划，下一步就是测试执行了，测试执行过程中会遇到很多问题，有时是需要设计人员及时确认 BUG 的，因为有些 BUG 是很难再现的，详细记录当时的测试步骤及表现，需要设计人员根据当时的测试过程分析原因，这样有利于问题的解决。

测试执行过程中，可能会出现设计缺陷，若出现重大缺陷，就可以中止测试，否则应进行完全测试，充分发现设计中的缺陷，集中整改。

测试执行过程中，需要保持测试的敏感性，不放过任何一处疑点，因为这些地方往往是设计考虑不到的地方，可能产生与预期不相符的结果，对疑问一定要追根究底，往往一些测试问

题都是疑问产生的，通过反复的测试，明确测试问题。

测试记录是详细地记录测试过程，重点记录测试执行过程中出现的问题及操作步骤，为问题的分析与处理创造条件。

测试报告是测试活动的总结，描述了测试的过程、测试出现的问题、测试结论及建议等，测试报告需要从测试记录中分析提炼数据，通过汇总分析，得出合理的结论。

测试完成后是需要及时进行总结的，总结测试中的经验和教训。经验可以是针对测试项的一种思维方法，也可以是问题的处理方法，吸取教训，避免在以后的测试中出现类似的情况，积累测试经验。

仪器操作规范对测试来说也是很重要的，仪器使用不当，测试结果是不一样的，因此需要按照标准中的测试方法进行测试，正确地使用测试仪器，保证测试的有效性。

第 12 章

文档管理

本章主要介绍测试文档管理基础、文档的存储与查询和文档管理的重要性，分别从测试用例、测试记录、测试报告等方面介绍测试文档管理技术。

测试文档是指在测试活动中输出的文档，一般包括：测试计划、测试用例、测试记录、测试报告、测试总结等。

对测试文档的管理主要是受控、存档、查询、复用等，测试文档是测试活动的过程记录，这些文档支撑着测试活动，没有测试文档的测试是不完整的，是无法保证测试质量的。

测试文档中体现了编写者的思想、对事件的看法及对问题的测试方法，这些都可以提炼为测试经验，在其他相关的测试中应用，也可以在同类的测试中直接引用、复用，提高测试效率。

文档的存储可以是人工纸质存储，也可以是文档电子存储，文档存储的目的是为了查询和使用，通过查询，可以了解到产品的测试过程及产品中存在的缺陷，进而了解产品的应用范围。

文件存储可以把测试方法记录下来，可以得到较好的继承，可以被其他测试活动复用，提高测试效率。

文档管理在测试活动中发挥着重要的作用，它是产品设计中重要的一部分。文档是产品设计及测试的过程记录，是产品质量的考察依据，提高产品设计人员的设计水平，也可以提高测试人员的测试水平。

文档逐步纳入了产品的认证体系之中，产品认证需要对产品开发与测试的文档进行检查审核，以评估产品设计是否符合相关要求。

文档也被产品使用客户所看重，可以指导使用人员正确地对产品进行操作，帮助其熟悉产品。文档管理对测试活动有积极的指导意义。

测试用例是测试方法与测试项目的集合，它指导测试活动的进行，因此对测试用例的管理很重要。测试用例需要及时被更新，删除裁剪的功能项，增加优化的功能项和测试方法，保证测试用例与产品需求的一致性，提高测试用例的复用性。

测试记录是测试活动执行的记录，最重要的就是对产品的缺陷详细记录。完整记录缺陷发生前后的操作及产品的表现，有利于对缺陷的原因进行分析及解决。

测试报告是测试活动的总结，集中阐述了产品存在的缺陷，对测试过程进行了整体总结，并说明测试的结论。

测试总结主要对产品测试过程中的经验和教训进行总结。分析测试中用到的测试方法及思路，在未来的测试中进行推广；分析测试中遇到的教训，在以后的测试中进行防范。

本章将重点介绍测试文档管理相关技术。

12.1 概述

文档管理是贯穿于整个产品测试活动之中的，测试的不同阶段输出不同的测试文档，文档时实时记录测试活动的输出，指导测试活动的进行。

（1）测试文档需要保持一致性、规范性和可回溯性，它不是孤立存在的，且测试文档之间是互相联系的，后续的文档可能引用了之前的文档或其结果。

① 一致性是各测试文档表述一致，避免出现自相矛盾的情况，测试文档都是围绕测试产品进行的，不应该产生不同的情况。

② 测试文档需要采用规范的模板，包含需要的各种信息，对测试活动起到积极的指导意义，促进测试人员与开发人员之间的沟通，避免不必要的重复工作。

③ 可回溯性是指后续文档的内容可以从前阶段文档中找到依据，表现了文档的继承性。可以帮助产品设计人员分析和解决问题。

（2）测试文档应该被有效地存储起来，而且还要便于查询，测试文档是测试活动的输出产物，可以被相关人员使用和借鉴。

文档管理是测试活动中的一项重要工作，文档是测试活动的依据和输出，其记录了测试过程中遇到的问题和产品的缺陷，是产品改进的依据，文档还可以体现测试活动安排的合理性，从中分析原因，提高测试的管理水平。

12.1.1 测试文档管理基础

文档管理是测试过程中的一项重要工作，文档编制工作不仅烦琐、费时，而且容易出现不一致的情况，因此需要认真地整理，反复地修改，才能保证文档的质量。

测试文档是测试人员与开发人员之间进行交流的平台，描述了测试过程中的依据和产品的执行情况，为产品的管理人员、开发人员、维护人员、质量测试人员及用户提供产品处理信息。

规范的产品测试文档可以规范测试工作的整个流程，可以减少测试人员之间的沟通成本，使测试工作易于检查，进而保证测试工作的顺利进行。

产品测试文档是测试人员之间交流和沟通的工具，也是测试的依据和测试过程重要的输出产品。如果测试人员之间没有对测试计划、测试用例等达成共识，则测试工作将不能顺利进行，从而对整个测试过程产生严重的影响。

产品的测试文档分为前期测试文档和后期测试文档。前期测试文档主要是指测试设计及围绕测试设计设计测试用例，测试设计是对整个测试活动的规划。后期测试文档主要是指对测试的执行活动、对测试中的问题进行分析判断，以及对测试活动的总结。

（1）前期的测试文档主要集中在测试计划和测试用例的编制上，根据产品需求及详细设计，设计测试项，根据设计项细化测试用例，前期测试文档是比较耗费时间和精力的。测试计划的编制需要整合现有的资源，考虑各种情况，计划测试项的先后顺序，对测试活动进行规划，测试用例是对测试计划中的测试项进行分解，分析各种输入情况，从而产生不同的测试用例。

（2）后期的文档管理集中在对数据的处理和统计上，通过对数据的统计与分析，找出测试

中的经验和教训，促进测试团队的建设。

1．测试文档与测试阶段的关系

文档管理包括测试文档编写、审核、会签、批准、存储、查询等相关活动，测试过程通常包括测试策划阶段、测试设计阶段、测试实施阶段、测试总结阶段，各个阶段都产生相关的测试文档，测试活动中产生的文档主要有：测试计划、测试用例、测试记录、测试报告、测试总结等，这些测试文档在整个测试过程中与各个测试阶段的对应关系如图 12.1 所示。

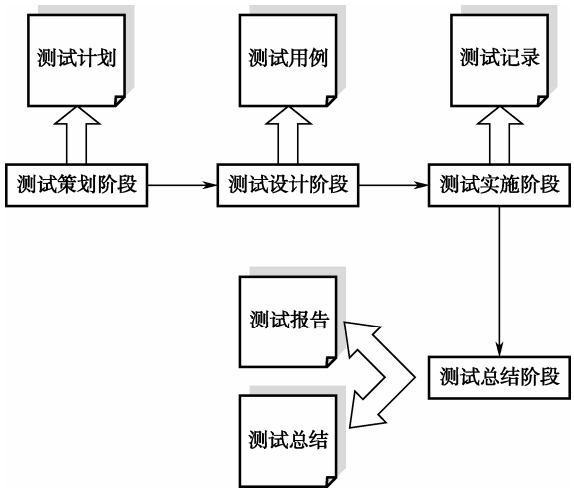


图 12.1　测试阶段与输出文档的对应关系

（1）测试策划阶段。一项测试任务分配以后，首先进入测试的策划阶段，需要根据测试对象的测试项目和存在的风险进行时间、人力等资源的整合，输出测试计划。

（2）测试设计阶段。测试计划完成后，进入了测试设计阶段，本阶段的重点是测试用例的设计，对各个测试项进行细化分解，设计各测试项的前置条件、操作步骤、预期结果等，需要考虑产品可能出现的各种输入情况及隐性的用户需求，输出测试用例，测试用例需要评审，审核通过后存档。

（3）测试实施阶段。测试用例完成后，进入了产品的实施阶段，主要是依据测试用例对产品进行测试，详细记录产品的执行结果，不符合产品预期结果的要重点进行记录，分析其是测试用例设计问题还是产品缺陷，及时确认缺陷和提交缺陷。

（4）测试总结阶段。测试执行完成后，进入了测试总结阶段，主要是整理测试报告与测试总结。测试报告是对测试过程进行说明，介绍测试对象，说明测试的顺序，详细描述产品缺陷及结论。测试总结是对测试过程中经验和教训的总结，使得经验得到推广，教训得到防范。

2．测试文档之间的关系

测试文档不是孤立存在的，各文档之间是相互联系的。测试文档依附于测试的阶段，输出相应的文档，每一阶段的测试文档是依据前一阶段的文档输出的，又为后续阶段提供基础信息，促使后续阶段的顺利进行。

测试文档之间存在着密切的联系，这种联系反映了产品生命周期中的发展过程，体现了产

品测试的不同阶段之间的关系。

测试文档之间的关系如图 12.2 所示。

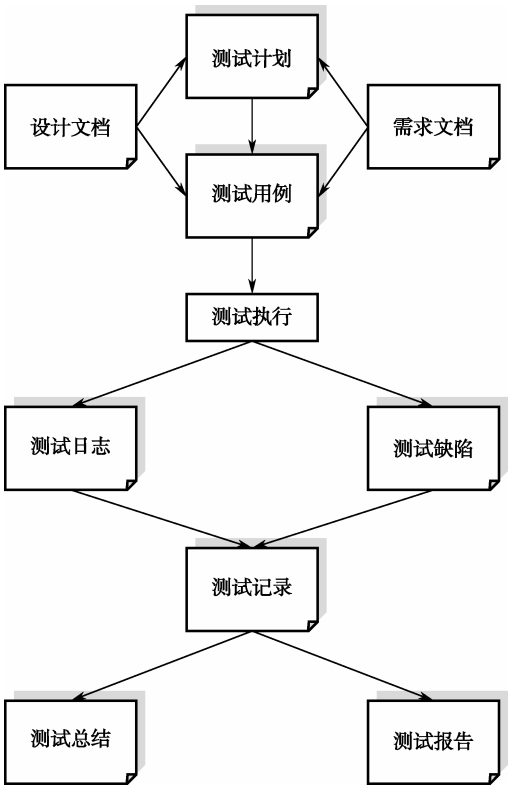


图 12.2　测试文档之间的关系

（1）测试计划是依据产品的设计开发文档和需求文档进行编写的，细化功能测试项目，按照规定的顺序，安排合适的人员和时间进行测试，明确测试的负责人和参与人员，为风险预留一定的余量，保证测试的有序顺利进行。

（2）测试计划是测试用例的编写依据，测试用例设计需要结合产品开发文档和需求文档进行测试项目的具体实施分解，每一测试项都需要设计输入条件、操作步骤和预期结果等。

（3）测试用例是测试执行的依据，测试记录是测试用例执行的结果，测试记录分为测试日志和测试缺陷两种，两者组成了完整的测试记录。

（4）测试记录是测试报告和测试总结编制的依据。根据测试记录中的测试缺陷情况，分析测试的结论；根据测试记录中遇到的问题，分析测试的经验和教训。

测试文档之间可以说是相互依存和相互制约的关系。

3．测试文档的规范化

产品的设计、实现和测试是由不同的人来完成的，他们之间的交流工具就是文档，没有规范的文档就失去了共同的基础，可能会出现认识上的偏差，影响人员之间的沟通与交流。规范的文档可以使相关人员之间进行有效的数据传递，以达到有效的沟通。

1）测试文档的内容

测试文档是产品开发中的管理文档，主要为管理人员和开发人员提供服务，测试文档从大的方面可以分为两类：测试过程文档和测试分析文档。

测试过程文档：包括测试的内容、进度、条件、人员、测试计划、测试用例、测试记录、测试报告，测试过程文档是测试过程中需要和产生的文档，是指导测试的依据，是测试活动的输出文档。

测试分析文档：包括测试分析报告和测试总结等，是测试活动完成后对测试活动的分析和总结，分析产品的测试结果和存在的问题缺陷，总结测试活动中的经验教训，提高产品设计和测试经验。

2）测试文档的质量

为了使测试文档发挥其桥梁作用，使之有助于产品的设计，有助于管理人员对产品质量和进度的控制和管理，测试文档必须保证一定的质量和规范。

精确性：测试文档一定要十分准确，不允许出现多义描述，相关的测试文档要保持一致，避免自相矛盾。

清晰性：测试文档的编写力求简洁明了，清晰地描述需要做的事情，烦琐的描述只会影响测试的执行效率，可以借助图和表等，使文档的描述更清晰。

完整性：任何一个测试文档都应该是完整的、独立的，可以引用其他测试文档，但不可以指向其他测试文档，这样对测试文档的使用人员来说，是很不方便的，测试文档的编写要求其使用人员可以方便的执行和查看，按照此测试文档就可以实现将要做的工作任务，不需要再查找其他的测试文档。

规范性：在测试过程中，测试文档应该有一个规范化的体系，保证测试活动有序、有效地进行，避免不必要的重复工作，规范化的测试文档有利于开发人员、测试人员及管理人员之间的沟通和交流，保证测试活动有效的快速进行。

可追溯性：可追溯性体现产品测试文档之间的联系，有些文档的结论是依据其他文档得出的，测试文档之间是相互联系的，是可以互相引用的。

灵活性：由于产品的规模和复杂程度不同，测试文档的编写应不拘一格，应选取符合产品的规范，贴近产品，适用于产品。

3）测试文档的版本控制

测试文档的版本控制是测试文档规范化的一项重要内容，产品的版本直接影响产品的测试文档版本。不同的版本存在不同的问题，测试的侧重点也将有所不同。

版本管理是对产品的不同版本进行标识和跟踪的过程，版本管理的目的是便于对版本的区分、检索和跟踪，分析版本之间的关系和应用范围。

测试文档是测试活动重要的一部分，其在产品测试中占有突出的地位，它的编制需要花费相当大的工作量。测试文档是检查产品开发过程的主要依据，有利于产品的改进，测试文档的质量与测试人员的绩效和经验有密切的关系。

4．测试文档的说明

测试文档的说明是为了保证测试文档的质量，进而保证测试活动的顺利进行。测试文档说明指出了测试文档的通用要求，是测试文档编制的依据。

测试文档说明主要包含：测试设计说明、测试用例说明、测试执行说明。

1）测试设计说明

测试设计说明规定产品的测试项，描述产品测试的标准及测试方法，阐述要用的测试技术，规定分析测试结果的方法和产品通过测试的准则。

测试设计说明对测试文档的编制有指导作用，保证测试活动的有效执行。

2）测试用例说明

测试用例说明指导测试用例的编写，规定产品的输入值及预期结果，说明输入输出之间的对应关系，规定输出的具体要求，提供输出的正常范围，如精度测试，参考误差要求，指出输出的上下限范围。

测试用例说明体现测试用例的设计思想，可以在多个测试项目中应用。

3）测试执行说明

测试执行说明了产品运行和功能测试时所要求的步骤，说明在测试执行过程中需要注意的事项，以及问题处理情况，描述了产品测试的启动条件，给出了测试过程中的应急处理措施。

12.1.2 文档的存储与查询

测试文档管理一项重要的任务就是将文档存储在指定的库中，以便于文档的查询和使用，发挥测试文档的作用。

合理规划测试文档库的存储结构，有利于测试文档的使用。可以以测试任务为导向设置为根目录，以下设置子目录，依次存储测试计划、测试用例、测试记录、测试报告、测试总结等。

测试文档主要用于确认测试问题、测试过程审核、产品测试追溯、测试经验推广、产品设计改进等。

产品的测试问题被详细地记录在测试文档中，开发人员在产品改进时，需要借助测试文档进行测试问题的复现，进而查找测试问题的原因，最终使问题得到解决。

产品的测试过程是产品认证和质量管理体系认证的重要审核项目。审核测试过程文档、验证测试问题的处理过程是否符合相关标准要求。一个产品的测试一般要经过多次修改才能达到现场应用的目的，各版本之间是相互联系的，后续版本是前期版本的完善，若处理欠佳，则会出现新的问题，这也是验证测试工作的重点。上一版本的问题应首先进行验证确认，包括采取的方法都应指导产品的后续测试。每一轮测试都可能产生新的测试方法和测试思想，这些方法和思想就是宝贵的经验财富，可以指导我们进行测试，可以在其他测试项目中进行推广。

产品测试出现的问题都从某一方面体现了设计的不足。测试问题是产品设计改进的重要依据，通过测试问题，可以完善产品设计，指导开发人员进行产品设计，提高开发人员的设计经验。因此，测试文档的存储具有重要的现实意义。测试文档是测试活动的纽带，将测试活动联系在一起；测试文档是测试活动的记录，指导产品的后续测试，提高测试人员的测试水平；同时测试文档是产品改进的依据，拓展开发人员的思维，促进产品的改进。

测试文档的存储是为了让使用人员及时地查找到需要的信息，使测试的成果得到最大范围的使用，依此来提高产品的质量，提高测试人员和开发人员的水平。

文档的存储相对于文档的编写来说比较容易些，文档存储的重点是如何快速地被查询，如何使测试的成果发扬光大，使经验得到推广，使教训得到学习。



测试文档的存储可以以测试任务为依据，一般的测试过程是需要经过多轮测试才能完成的，以每次测试为一个任务，将该次产生的文档都存储在该文件夹下的子文件夹下，可以很方便地被查找。采用任务为导向的测试文档存储，可以很清晰的显示测试经过的轮次，很方便地查找到相关的文档。

文档的存储可以借助专门的过程文档管理工具，如 SVN 等，可以对中间的文档版本进行跟踪管理，保证测试文档的各个版本都被记录。

12.1.3　文档管理的重要性

在产品测试过程中，文档管理贯穿于产品测试的每个阶段，它是测试最基础的工作之一。文档管理包括文档的编制、审核、批准、存档、查询等多方面的工作。

文档管理的重要性主要体现在以下几个方面。

1．文档是产品测试的组成部分

测试文档与产品密不可分，测试过程的评价，是需要测试文档提供数据的，测试文档保证测试的顺利进行，没有测试文档的支持，测试活动将是一盘散沙，其质量是不可能得到保证的。

测试文档保证了测试活动的有序高效进行，避免重复的测试，对测试进行了整体规划，对测试中的不确定因素进行了预估，也制定了应对措施，保证了测试活动的正常执行，保证了测试的质量和效率。

测试文档是测试活动的记录，记录所有的产品缺陷，是产品改进和测试的依据，没有测试文档的记录，时间长了，就会被遗忘，测试文档是保证测试问题缺陷不被遗忘的有效方式，是最可靠的形式。

2．产品的测试过程是文档的驱动过程

测试活动的每个阶段都是以前一阶段的文档为起点的，且以新的文档作为阶段的终点，一定意义上说，相应文档的完成标志着该阶段的完成，测试文档的质量直接关系到测试阶段的绩效，这些文档又成为下一阶段测试工作的基础，文档的质量很大程度上决定了测试的质量，良好的文档管理使测试的质量和效率得到了保障。

3．文档管理是产品测试管理的重要组成部分

通过对测试文档的管理，了解测试的进度和质量，协调需要的资源，实现对产品测试的管理，保证测试的有序进行。

测试文档也是绩效考核的一部分，测试文档中明确了测试工作的工作量及完成的时间，是测试人员绩效考核的直接数据。

4．减少测试沟通成本

测试中出现的问题需要进行沟通，面与面的沟通会浪费大量的时间成本，包括准备、谈论等都需要时间，有了测试文档的支持，使得测试沟通变得有效，开发人员只需要根据测试文档来验证问题，不需要测试人员的参与，大大减少了沟通成本，提高了工作效率。

5．产品改进的依据

测试文档中记录了产品的所有缺陷，可以帮助开发人员查找问题的原因及解决问题；测试文档中记录了产品的缺陷处理过程，是产品改进的依据。

6．测试文档促进测试人员技术的提高

测试文档特别是测试总结中，总结了测试活动的经验和教训。经验包括有效的测试方法、思维、活动等；教训包括测试失败的因素、影响测试进度的事件等。这些经验和教训都可以促进测试人员技术的提高，是宝贵的经验积累。

7．测试文档可以被复用，提高测试效率

测试文档作为测试的输出文件被保存下来，可以作为该项目改进版本的测试依据，测试用例可以直接或稍加修改进行复用，大大提高测试效率。某些测试用例还可以在其他项目测试中被复用，减少测试用例的编写时间，提高测试的效率。

12.2 文档管理技术

测试文档在整个测试过程中的地位十分重要，不仅被测试管理看重，同时对测试工作也有积极的指导意义。测试文档主要包括测试计划、测试用例、测试记录、测试报告、测试总结等。

（1）测试计划是测试工作的整体规划，对测试计划的管理，可以提高测试计划设计人员的统筹能力，提高测试计划的准确性。通过有效的测试计划调整，使测试过程的进度可控。

（2）测试用例也是逐步完善的过程，在测试中不断地进行修改和增减，使得测试用例完全符合产品测试的需要，根据用户的意见，保持测试用例的实时更新。

（3）测试记录是测试活动的输出文件，需要如实记录产品的执行过程，记录产品的所有缺陷和发生过程，有助于开发人员对缺陷的复现、查找原因及问题解决。

（4）测试报告是测试活动的总结，重点是测试活动的问题及结论。产品管理人员通过测试报告，了解产品的质量状况，指导其下一步的工作安排。

（5）测试总结是测试活动中经验和教训的总结，其有利于提高测试人员的水平，有利于改进测试流程，体现测试的价值。

12.2.1 测试计划与文档管理

测试计划关系到测试活动的设计和执行等，良好的测试计划，可以规避测试的风险，保证测试的顺利进行。

测试计划描述测试活动的范围、测试方法、资源及测试进度，规定了产品测试的项目，确定了产品测试的人员及时间安排。测试计划对采取的测试策略进行了说明，说明了测试的相关风险。

一般的测试计划应包括：测试环境配置、测试人员职责、测试项、测试执行、应提交的文



档等。

（1）测试环境配置：包括产品硬件和软件，明确硬件设备信息，确定软件测试版本。测试的软件一般是需要受控的。

（2）测试人员职责：明确测试负责人及其职责，确定测试人员的职责，明确测试人员的测试任务，指出测试备选人员，以防测试人员的变动风险。

（3）测试项：描述各测试项，说明未测试项，描述测试项的具体测试方法和预期结果，即测试结果的判定依据，测试项的描述中包含测试的顺序。

（4）测试执行：主要是规定测试问题的处理流程，说明测试过程中的注意事项和可能存在的一些风险及应对措施。

（5）提交的文档：测试计划中应明确在不同的测试阶段中输出相应的文档，作为该阶段的结束标志。文档是需要进行审核、会签和批准的。文档审核一般是测试的负责人进行审核，文档会签是产品的项目经理，文档批准是测试部门的领导。

测试计划是测试活动的初步规划，指导测试活动的进行。在测试执行过程中可能遇到一些问题，使得测试计划有所偏差，小的偏差不用理会，若出现大的偏差，则需要计划变更，使得测试计划起到指导的作用。测试计划体现了计划编制人员的统筹规划能力，使之在计划变更中获得提高，提高对测试的整体把握能力。

测试计划的文档管理旨在控制测试计划的变更，分析计划变更的原因，说明测试计划中采用的比较好的方法，这些都可以作为以后产品测试计划的依据。

测试计划的编制，避免了测试活动的盲目性，使测试活动按照计划进行，保质保量地完成测试。

测试计划不要成为一纸空文，应该发挥其指导测试的作用。在测试过程中，需要测试人员按照测试计划进行，不能私自修改测试项目，若需要修改，需要通过相关的评审。

测试计划文档管理就是让测试计划更好地服务于产品的测试，充分发挥其指导测试的作用，使测试人员有目标的进行测试。

测试计划文档管理注重测试计划的编制和变更过程，这些环节是值得学习和借鉴的地方，以此提高测试计划编制人员的管理水平。

12.2.2　测试用例与文档管理

测试用例是测试执行的依据，测试执行时，需要按照测试用例中的步骤进行测试，检查产品执行结果与预期结果是否相符，测试用例管理具有重大的现实意义。

测试用例贯穿于产品的整个测试活动之中，项目进度和计划的变更及测试资源的变动都会对测试用例产生一定的影响，因此，需要根据情况增减测试用例的内容，以使测试用例适用于测试。

测试用例文档管理一个重要的方面是保持测试用例实时更新，与产品的设计和用户需求保持一致，保持测试用例的有效性。

1．修改过时的测试用例

由于产品需求的变更或者功能的完善，使得某些测试用例不再适用于新产品的测试，新产

品按照原测试用例进行测试，可能产生错误的结果，因此，需要对过时的测试用例进行调整修改，使其按照新的产品功能及需求运行，修改产品的设计预期，以使预期结果符合产品的设计要求。

在产品版本更新时，需要特别注意不符合项的测试用例修改，保证测试用例的时效性，使之适用于新的产品版本。

2．删除冗余的测试用例

冗余的测试用例指两个测试用例具有相同的前置输入条件和预期输出结果，这两个测试用例是重复的。冗余的测试用例降低测试的执行效率，提高产品的测试成本，因此在测试过程中需要及时清理冗余的测试用例，保证每个测试用例都在测试不同的功能和性能。

有时存在一项产品的功能测试用例可以在其他的测试用例中测试到，即存在测试用例包含情况，那么此项测试用例也属于冗余的测试用例，则需精简测试用例，从而来提高测试的效率。

3．增加新的测试用例

如果产品增加了新的用户需求，因此会产生相关的功能，需要针对这些新需求，增加新增功能的测试用例及与之联系的测试，新的需求功能可能影响原设计功能或者存在一定的联系，对这些部分都需要进行测试用例设计。

通过增加新的测试用例，使测试用例覆盖新产品的所有测试点，保证测试的质量。

4．修改可控性差的测试用例

测试中会发现，在不同的产品运行状态下进行测试用例的执行，其执行结果是不一样的，或者是执行一遍测试用例和再次执行此测试用例时其结果是不一样的，需要尽可能调整测试的前置条件和步骤，使测试用例在不偏离测试功能的前提下，达到可重复性的要求。

针对此测试用例，需要分析其有效的前置条件，将所有的前置条件纳入测试用例的设计之中，以求测试全面。

5．转化探索性的测试用例

在实际的测试过程中，一般测试人员除了按照测试用例规定的测试步骤执行完，还会进行一些随机的探索性的测试，在测试中的特定环境下，会产生一些新的测试点和测试方法等，这些探索性的测试是测试人员临时设计的，没有经过评审或验证。

但是，往往在探索性的测试中，会产生大量的和不符合设计的缺陷，这些缺陷需要被修复。这些测试过程是不可多得的财富，应该将其前提条件、操作步骤规范化，以转化为测试用例。

通过对测试用例库的管理，不仅可以使当前的测试用例更加可靠可信、执行的过程变得更加高效，也使得测试用例库的复用性得到较大的提升。

测试用例的复用性和时效性是测试用例文档管理的主要目的，测试用例的复用性越高，时效性越强，测试用例文档管理的成效就越大，就可以提高产品测试的效率，降低产品测试的成本。

测试用例复用，减少测试用例的设计时间，加快产品测试的进度，进而提高测试的效率。保证测试用例的时效性是为了更好地进行测试用例复用。



12.2.3　测试记录与文档管理

测试记录是测试执行过程的详细记录，重点记录了测试过程中出现的产品缺陷，以及对缺陷产生的条件和表现重点记录，以有利于缺陷的复现、原因分析及解决。

测试记录的主要作用是帮助开发人员分析解决问题，提供缺陷的复现步骤，另一方面为管理人员提供考核的依据。测试记录是测试工作量的体现。

测试记录文档管理，保证测试记录及时的被存储，可以很好的应用在以后的对比测试中，分析产品的差异，对比测试问题，有利于促进产品的改进。

测试记录对一些环境条件、测试人员及时间进行了记录，为测试后期的活动提供必要的线索、信息支持，有利于对问题的讨论，确认问题。

产品缺陷是测试记录中的核心内容，需要便于查找。测试记录中对缺陷记录的具体要求如下。

1．缺陷标题部分

缺陷的标题部分包括标题、缺陷 ID、缺陷状态等。

（1）缺陷标题是缺陷的准确描述，应该言简意赅，在语义上不存在分歧，

（2）缺陷 ID 是缺陷的唯一编号，可以包含产品存在的模块信息、严重程度等。

（3）缺陷状态表明缺陷所处的当前状态，是缺陷处理过程中的标志。

缺陷标题部分的内容都是为了该缺陷被方便地进行查找和使用，为使用人员提供有用的信息。

2．缺陷正文部分

不同类型的缺陷，对内容的要求可能有所不同，比如一些有关性能的缺陷就对操作步骤的要求比较低，但是需要更加详尽的测试数据，一些有关安全性的缺陷就会对输入的测试数据有一些特定的要求，一般功能性的缺陷就会对缺陷的复现步骤要求更高一些。

一般缺陷正文应包括被测对象软硬件版本、前置条件、复现步骤、预期结果、实际结果等，详细记录与缺陷相关的信息。

（1）产品缺陷是与软硬件版本密切相关的，是在特定的软硬件版本中出现的，在缺陷的记录中需要说明测试的软硬件版本。

（2）前置条件是产品缺陷产生的初始条件，是执行某一测试用例的先决条件，前置条件的不同可能产生不同的测试结果，缺陷记录中一定要记录测试的前置条件，否则可能影响缺陷的复现。

（3）复现步骤是指具体的测试步骤，按照步骤进行操作，可以使缺陷被复现，有利于对缺陷的原因分析及解决。

（4）预期结果是测试用例中规定的执行结果，是符合产品设计要求的。在测试中，通过与预期结果的对比，得出产品的缺陷。

（5）实际结果是按照步骤执行的实际结果，缺陷的实际结果与预期结果是有出入的，通过对比可以分析缺陷产生的原因，帮助开发人员有针对性地进行一些处理。

测试记录文档管理一方面记录产品测试的过程，记录产品的执行结果；另一方面记录产品

存在的缺陷，提供足够的信息，使问题被复现，帮助开发人员确认问题和解决问题。

12.2.4 测试报告与文档管理

测试报告是测试活动完成后，对整个测试过程进行描述的一份文档。测试报告中一般包括测试对象、测试仪器、测试配置、测试依据、测试问题、测试结论等与测试相关的所有信息，旨在为项目测试的管理人员提供测试活动的完整说明，使领导了解测试过程、产品的缺陷和结论，这些信息都为领导安排下一步工作提供了依据。

测试报告是作为测试与开发人员之间流通的通用文档，因此对测试报告的要求比较高，并以客观的立场阐述测试过程、问题及现象，避免产生歧义的情况。

测试报告中应明确测试用例的执行情况，对未测试项说明原因，以使测试的管理人员了解整体测试情况，进行下一步的工作安排，如是否需要补充测试，若是条件不满足，可以到现场或者其他单位进行测试，以及对缺陷问题的验证工作。

产品缺陷是测试报告的重点，测试结论是根据缺陷的严重程度和缺陷等级得出来的，测试报告应包含主要的产品缺陷描述，并进行统计，说明缺陷的分布与数量，为项目的测试管理人员提供数据支持。

测试报告应以测试活动为依据进行存储，每个测试报告均对应特定的产品版本，对产品的任何修改都会产生一个新的版本，需要测试人员进行验证回归测试，测试报告在存储时，可以附加产品软硬件修改信息，用以提高测试报告的针对性。

产品的测试报告是产品设计及改进过程中不可缺少的文档，测试报告的变更体现了产品设计的修改和调整。

测试报告也会应用于产品的成本核算之中，经过多少轮修改，产品才趋向于稳定，是考核设计与测试的直接依据。

测试报告的轮次也体现了产品设计和测试的水平。产品每次修改不彻底，测试不全面，造成屡次出现严重的错误，使产品陷入反复测试之中。

测试报告是产品设计和测试的成果，在产品的改进中起到了很重要的作用，对其他项目的开发与测试都有一定的指导意义。

测试报告是提供给相关人员的正式文档，需要审核、会签和批准，为开发人员传递信息，通过对缺陷的多次修改和调整，提高其产品设计能力。

测试报告需要及时地进行存储，对产品的修改进行详细的描述，提高测试报告的针对性和借鉴性，可以借鉴其中的问题处理方法和测试方法，提高产品设计与测试能力。

从测试报告中可以查询到设计的缺陷分布，还可以了解产品设计常犯的一些错误，以及容易出现问题的方面，这些都可以指导开发人员完善设计。

12.2.5 测试总结与文档管理

测试总结是对整个测试活动中的经验教训进行总结，属于产品测试的财富库文档，通过测试总结，了解测试中用到的好的测试方法，分析测试中影响测试进度的经验教训，了解产品容易出现问题的方面，分析测试用例的设计思想，为我们以后所受用。



测试中可能产生随机的探索测试方法，发现一些产品缺陷，对测试方法进行加工，就可以形成一个通用的测试设计，从而可以应用于其他测试项目。

测试中可能由于某种情况制约了测试的进行，如果前期在评估测试的风险时，对这种情况进行预测，那么测试中就可以避免其对测试的影响，这种因素可以集合在产品的风险管理之中，使在以后的测试中不再出现这种情况，保证测试的顺利进行。

测试中的经验主要包括采取适当的策略缩短测试时间、利用有限的资源对产品进行全面的测试、采用适当的措施提高测试的效率等，这些都促进了测试的顺利进行，保证了产品的测试质量。且这些情况在不同的测试项目中都是相通的，它们的应用将大大提高测试的效果和质量。

总结产品测试中容易出现的问题，或者是在某种功能设计时容易出现的错误，可以帮助测试人员进行重点测试，还可以促进产品开发人员对该功能的完善。

测试思想是非常重要的，思想决定行动，活动是思想驱动的。测试思想包括对功能项的看法、对功能项的输入条件分析等，对这些项目的细化有利于对产品的测试设计与执行。

测试总结不能局限于形式上，要付诸行动，使总结的内容得到认真的学习，并在测试活动中得到应用。测试总结也应该得到坚持，对提高整个测试团队的测试水平具有非常重要的意义。

测试总结是基础的活动，也是很重要的，没有测试总结，就谈不上测试总结的推广，测试总结需要整体把握测试活动，充分参与测试活动，对测试活动中的细节比较清楚，才能以此提炼形成测试总结。

测试总结的重点不在总结上，而是在推广上，如何得到推广，使总结发扬光大，才是最重要的。测试总结出来的只能算是静态的文档，应该使其动态的影响测试人员的活动，规范测试人员的工作，提高测试人员的水平，用以发现产品中更多的设计缺陷，进而保证产品的测试质量。促进测试团队建设。

测试的最高境界是测试团队建设，具有一个优良的测试团队，才能全面保证产品的测试质量，以提高产品的设计能力，保证产品稳定可靠运行。

12.3 小结

文档管理是测试过程中一项重要的任务，涉及文档的编制、审核、会签、批准、存储、查询等多方面的内容。

规范地编制测试文档，可以对测试过程的完备性进行对照检查，并且会提高测试过程中的每个阶段的透明度和测试工作的可管理性，并使测试有计划、有条不紊地进行，保证测试的质量，提高测试的效率。

在测试中，不同的测试阶段要求输出不同的测试文档，测试文档作为测试阶段完成的标志，对测试文档的要求比较高，应包含所有的设计项，准确的描述，不允许出现歧义的情况。

测试文档作为测试与开发部门之间的沟通文件，其质量直接决定了沟通的效率，因此测试文档一定要规范化。

文档应该以测试任务为依据进行存储，将每次测试的相关文档都存储在其子目录中，便于对测试的查询和调看。

文档管理中对文档的查询和使用是一项重要的操作，文档中的内容可以被参考，可以提高

后续测试的效率，如测试用例可以被很大程度的复用在产品的回归测试中，问题缺陷也会在回归测试中进行重点验证，指导产品的回归测试。

文档管理使测试过程有计划地进行，保证了测试的高效和质量，使测试过程可控。通过测试文档，了解测试的进度和产品的质量，调整测试策略，使测试顺利进行。

通过对测试文档的管理，可以提高测试人员的水平及测试管理人员的管理水平，一方面使测试人员的经验得到积累，提高自身的测试水平。另一方面使测试的管理人员提高对测试任务的把控能力，使其考虑各方面的因素，安排各种资源，保证测试活动的正常进行。

测试完成后，需要总结测试过程中的经验和教训，分析利于测试的成功经验，总结测试过程中的不足和教训，这些都是测试人员急需提高的方面，这样测试人员会在不断的测试中获得提高，在每一次测试总结中得到进步，使测试人员具有多向思维，而不局限于测试任务本身。

测试总结的分享，促进了测试团队的建设，有利于提高整个测试团队的测试水平，使其更好地服务于产品的测试，促进产品质量的提高。

第 13 章

缺陷管理

本章主要介绍缺陷管理基础、缺陷的类型与缺陷管理的作用，分别从缺陷处理流程、缺陷分析与管理等方面介绍缺陷管理技术。

缺陷是测试中出现的问题，其可以分为不同的级别，有不同的严重程度。缺陷的管理是一个闭环的活动，包括缺陷提交、缺陷跟踪、缺陷验证等。

缺陷是产品设计缺陷，需要在测试完成后确定是否进行修改，影响安全性的问题及不符合用户需求的问题，必须得到修改，而一些建议性、功能优化的问题设计人员可以根据情况进行修改。

缺陷是客观存在的，产生缺陷的原因是多方面的。缺陷可以分为不同的类型，主要有功能需求上的问题、信息响应问题、边界问题、故障处理问题、精度问题、长时间工作稳定性问题及兼容性问题、版本控制问题等。

缺陷管理对缺陷的流程进行控制，确保缺陷问题被及时地处理和验证，对缺陷进行有效的控制。分析缺陷的概率及应对措施，制定合理的预防对策，提高产品的可靠性。通过对缺陷的管理与分析，增加产品设计经验，提高产品设计能力。

缺陷的处理流程一般包括：提交、处理、验证等，缺陷提交以后，项目管理人员会进行任务的分配，缺陷处理以后，会提交测试人员进行验证，若验证通过，则流程结束，否则转入处理流程。

测试缺陷的分析与定位是比较重要的，一方面可以帮助设计人员快速确认问题及解决问题；另一方面，由于不同的测试项目可能具有相同的问题，可以用来完善测试用例，积累设计与测试经验，提高产品设计与测试技巧。

本章将重点介绍缺陷的类型、缺陷的处理流程及管理技术。

13.1 概述

产品缺陷是客观存在的。缺陷管理是贯穿于产品测试之中的，其实际上是对缺陷的处理过程进行跟踪管理，对缺陷的影响范围进行控制，提高系统的稳定可靠性，进一步提高产品的质量。

一个完整的缺陷应该包括缺陷的标题、详细描述、操作步骤、优先级别、严重程度等，应详细描述缺陷发生时及发生前后的各种信息，以有利于缺陷的复现、分析及处理。缺陷数量的

多与少不代表质量的劣与优，产品的质量是结合缺陷的严重程度和影响范围进行综合评估的。

依据出现缺陷的模块及影响范围，可以把产品缺陷分为多种类型。通过对常见的类型进行了解，以此来设计测试用例，完善测试策略，活跃测试的思想，有利于测试的执行。挖掘产品的缺陷，对缺陷进行了解，才能在测试中进行重点测试，正是所谓的“知己知彼，百战不殆”的思想，要想很好地测试产品，必须对产品进行详细的了解，对常见的缺陷进行了解，才能更好地对产品进行测试，发现比较多的产品设计缺陷，促进产品质量的提高。

缺陷管理在产品的测试与开发中发挥着积极的、重大的作用，产品的缺陷直接关系到产品的质量。对缺陷的控制，可以实现对产品质量的控制。

缺陷管理为测试与开发积累宝贵的经验财富，指导测试人员对产品进行比较全面的测试，同时指导产品的设计人员在产品设计时，考虑多种情况，避免常见的设计错误，设计周全，保证产品的质量。

13.1.1 缺陷管理基础

缺陷的标准定义：从产品内部看，缺陷是软件产品开发或维护过程中存在的错误、毛病等各种问题；从产品外部看，缺陷是系统所需要实现的某种功能的失效或违背。

产品的缺陷是指不满足用户确定的需求、不符合设计要求、软件开发和使用当中出现的各个问题，是指程序或文档中存在各种不希望出现的问题。缺陷是任何可以影响到程序完整和用户需求的东西，其是客观存在的，可以被标志、描述和统计。

产品测试的主要目的是为了检测并发现产品中潜在的各种缺陷，以确保产品可以被安全有效的使用。产品缺陷影响到整个产品开发和运行的方方面面，包括产品基本测试、产品可靠性评估等。

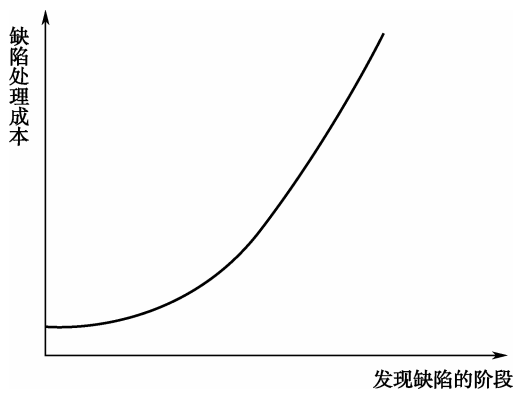


图 13.1　发现缺陷的阶段与处理成本之间的关系

缺陷管理的目的是对各阶段测试发现的缺陷进行跟踪管理，以保证各缺陷修复达到标准。缺陷管理主要实现以下目标：及时了解并跟踪发现的缺陷；确保每个缺陷都被处理；搜集缺陷并进行分析，并将其作为组织的财富。

发现缺陷的阶段与处理成本之间的关系为：越早发现缺陷，其影响越小，其处理成本越低。如图 13.1 所示。

提交产品缺陷时，每个缺陷中只包含一个问题，便于对缺陷的跟踪和管理，确保问题能够重现，排除由于环境的特殊性而产生的问题，确保缺陷报告对缺陷的描述完整和简洁，步骤清晰，以便使开发人员能够快速地定位问题，不会对相应描述产生理解上的偏差。

1．缺陷的描述

一个完整的缺陷信息应该包括：缺陷的状态、严重性、所在模块、软件版本、类型、详细描述、阶段、提交者、测试者、测试日期和时间等，便于对缺陷的分析与解决。

1）缺陷标题

对缺陷问题的简要描述，一般情况下是描述在什么情况下出现了什么问题。

2）缺陷状态

缺陷的状态包括打开、待验证、重新打开、延期处理、关闭等。一般缺陷提交为打开状态，设计人员处理后为待验证状态，测试人员进行验证，若还有问题则重新打开，否则为关闭状态，若此问题不在本版本中处理，可以置为延期处理状态。

3）缺陷的优先级别

缺陷的优先级别表示缺陷需要被修复的紧急程度，体现缺陷被处理和修正的先后顺序的指标。一般缺陷的优先级可以分为五个档次：急迫（Urgent）、很高（Very high）、高（High）、中（Middle）、低（Low），分别表示应该立即被修复的缺陷、应该在产品发布前修复的缺陷和在一定时间内可以存在的缺陷，如表 13.1 所示。

表 13.1　缺陷的优先级对照表

优　先　级	说　　明	描　　述
5-Urgent	紧急	立即处理
4-Very high	很高	及时处理
3-High	高	排队处理
2-Middle	中	有时间处理
1-Low	低	版本升级时处理

4）缺陷的严重程度

缺陷的严重程度用来描述缺陷对产品的功能和性能所产生的影响。按照其严重程度可以把缺陷分为致命、严重、一般、轻微、建议五个等级，在具体项目中可以按照实际情况来划分等级数目，如表 13.2 所示。

表 13.2　缺陷的严重程度表

缺陷的严重程度	说　　明	描　　述
A	致命	最严重
B	严重	比较严重
C	一般	一般问题
D	轻微	较小的问题
E	建议	版本升级时考虑

5）缺陷所属项目或模块

缺陷所属项目或模块描述缺陷所属的项目或缺陷具体在项目中的位置、模块等信息，帮助设计人员确认问题。

6）缺陷类型

缺陷类型指出缺陷所属的类型，如界面缺陷、安全性缺陷、功能性缺陷、性能缺陷等。

7）缺陷提交人

缺陷提交人指提交缺陷的人或者发现此缺陷的测试人员。

8）缺陷指定解决人

有些项目在模块划分后，会制定模块的解决人，也可以由项目经理指定缺陷的解决人。

9）缺陷详细描述

对缺陷的详细描述，包括测试时的环境、软硬件平台、发现缺陷的日期、操作步骤、测试数据等。可以附加一些附件，更清楚的说明当时的问题。

产品的质量是结合产品缺陷的严重程度和影响范围进行综合评估的，产品不允许出现影响用户需求和功能的缺陷，便于使用和稳定可靠是产品设计追求的目标。

缺陷管理的目的就是通过缺陷的跟踪控制，分析缺陷的规律，制定有效的措施，保证产品的质量和产品稳定可靠运行。

通过缺陷管理，可以保证对产品中存在的缺陷有效的处理，无法处理的缺陷可以通过操作手册进行合理规避。

大部分的缺陷是需要进行处理的，可有一部分缺陷由于某种原因不需要暂时进行修改，该部分缺陷的主要原因有以下三个方面。

- 有时是因为没有足够的时间和人力来修改，大部分的产品开发时间都比较紧急，没有为测试与修改留出足够的时间。
- 有时是因为不算是真正的缺陷，有些缺陷是错误理解或测试方法不合理产生的，还有些是产品的特殊应用，一些产品的缺陷被忽略了。
- 还有时是因为缺陷修复的风险比较大，产品软件本身比较脆弱，难以理清头绪。一般是在产品软件经过多人维护之后，已经不能完全明确设计者的思想了，在这种情况下进行修改，可能会导致其他的软件缺陷出现。

发现缺陷的数量不能说明产品的质量。在产品测试中，发现很多的缺陷对测试工作来说是很正常的事，这只能说明采用的测试方法比较好，测试工作很有成效，但依此来判断产品的质量，是比较片面的。

产品的质量评价需要结合缺陷的严重程度与优先级综合考虑。质量稳定的产品是不允许出现违背用户需求的情况的，且基本的功能和性能都满足要求，没有发现缺陷。

2．缺陷的原因

造成产品缺陷的原因是多方面的，主要有程序编写错误、未按照规定编写程序、软件越来越复杂、开发人员的态度、沟通上的问题、需求变更太过频繁、进度上的压力，以及管理上的缺失。

1）程序编写错误

程序编写错误是一个很常见的问题，通常跟开发人员的经验有关。但即便经验再丰富的开发人员设计出来的产品也一定会有 BUG 出现，只是出现的问题较少而已。

2）未按照规定编写程序

一般的公司都会制定一套产品设计规范，开发人员必须按照所规定的方法进行开发设计产品。制定规范最主要的目的就是为了规范产品的设计过程，借鉴有效的产品设计开发经验，避免带来不必要的损失。

一般设计人员都有自己的开发习惯，合理的开发习惯可以保证产品的质量，不合理的习惯就可能产生缺陷。通常从一个产品的软件程序完成以后，会有不同的开发人员进行维护，若没

有按照规定编写程序，则会使产品难以维护，由此而产生许多缺陷。

3）产品越来越复杂

由于产品的功能需求比以往增加许多，产品市场的竞争也迫使产品需要提供的功能服务相应增加，使产品越来越复杂，软件代码也变得很庞大。

为了提高开发效率，缩短开发周期，模块化的趋势也让产品程序的组织更加复杂。这些都使得开发人员开发的难度加大，产生缺陷的机会也随之增加。

一般情况下，产品设计越复杂，出现缺陷的概率越大。

4）开发人员的态度

开发人员的态度主要是指对质量观念认同问题及对问题的处理方面。有些开发人员，面对问题他们常采用回避的态度，没有及时地进行处理与分析，造成了缺陷的产生和扩大。另外也有些开发人员，他们在软件开发过程中表现出自大的情绪，对客户及测试人员的反应熟视无睹，漠不关心，没有客观地看问题，只是主观地认为没有问题，这些来自开发人员的消极因素都无疑造成了软件缺陷的增多。

5）沟通上的问题

沟通上的问题出现在人员与人员、部门与部门、垂直与横向的沟通上，有些问题就是前期没有得到有效的沟通，从而造成了认识上的差异。例会之所以存在就是为了增加沟通渠道，在产品开发和测试过程中，沟通是必要的，需要定期召开讨论会议及评审会议。

6）需求变更太过频繁

可能由于前期对需求的分析不明确，造成在开发过程中需求变更频繁。需求变更如果发生在开发的初期，对整体的影响是可以控制在一定范围之内的；但如果发生在后期，所造成的影响除了开发周期延误之外，产品质量将很难得以控制。

7）进度上的压力

任何产品的开发都有所谓的进度压力，一般产品开发时间比较紧，在开发过程中，只关心主要功能的实现，而对其实现方式并没有评估，这种方式效率可能会比较低，满足不了客户的需要。有时产品在主要功能的实现上都没有时间进行完善，更别说附加功能了，以至于产生很多的问题。

8）管理上的缺失

产品开发过程最忌讳的就是产品不受控，在开发过程中硬件或软件版本混乱，文档错误百出，生产出来的产品就可想而知了。

9）意识上的问题

开发人员对一些小的缺陷不在意，没有经过认真的分析，这样缺陷可能被放大。有时他们认为缺陷只是系统运行异常的初始表现，暴露的是产品设计上的漏洞，但在某种条件下，可能会产生非常严重的缺陷。因此，需要对产品的缺陷进行分析，不管其是大是小，是严重还是轻微，都要分析可能产生的原因，并进行设计验证，以减少缺陷的发生。

3. 容易被遗漏的缺陷

产品测试不可能发现所有的缺陷。产品开发的各个阶段都存在输入缺陷的可能，在测试中也可能忽略某些缺陷，这些缺陷的影响是比较大的，会给产品留下隐患。这些容易被忽略的缺陷如下。

1）安装缺陷

产品一般完成代码后，安装打包是最后一个环节，测试人员只是在配置好的环境中进行测试，并没有仔细测试这一部分，只是集中测试产品的功能上。

还有可能，在环境搭建时，程序采用拷贝的方式，没有运行安装程序，结果在正式安装时出现问题，如控件没有注册、注册表没有导入等。在程序运行时缺少动态库文件，使程序无法运行，造成此问题的原因是安装程序在打包时没有集合所有需要的动态库文件所造成的。

产品的安装缺陷是容易被忽略的，测试人员从意识中弱化了这部分的测试，可能认为产品已经正常运行了，安装部分应该没有问题，正是这种意识，使安装部分的缺陷被忽略了，但在用户使用时被暴露出来。

2）配置文件

产品的配置文件一般是比较烦琐的，也只有项目的开发人员可以进行配置，测试人员一般不会去学习这部分的内容，从而造成对这部分的遗忘。

配置文件一般可以用记事本打开，产品内部的一些重要信息，如用户、密码等可能被泄漏，对产品产生安全隐患。

3）判断顺序/逻辑缺陷

对产品中输入数据及逻辑检查的测试，需要改变输入的次序，或者是先输入有效数据，再输入非法数据，测试对不同情况的处理。

在测试的时候，不要按照正常的顺序输入进行，而是要打乱步骤，看看代码是否强健，是否在判断逻辑上没有错误。良好的代码应该经得起折腾，至少在数据保存时会全部进行判断，不会引入非法数据而引起系统异常或崩溃。

4）调试语句和冗余功能

产品在开发调试过程中，开发人员为了调试方便，会在中间加入一些调试语句，以判断程序执行是否正确，这些语句的存在对使用人员来说是没有用处的，甚至会影响使用，如果没有删除或屏蔽这些语句，可能会使用户认为系统出现了问题。

在产品的升级中，由于用户需求的改变，产品增加和删除了一些功能，开发人员往往关注增加的功能，可能忽略删除不需要的功能，使得产品中存在冗余的功能。用户在使用时，对其进行操作；可能会造成不必要的错误。

另外，产品在测试时，由于没有实际数据，从而设置了一些数据，如果测试人员没有细致地对这部分进行测试，在使用中，用户修改其他数据时，系统有可能无法工作。

5）无法重现的缺陷

无法重现的问题，开发人员往往会给出一些解释，测试人员也容易被说服，从而在缺陷提交时，忽略这部分缺陷。

无法重现的缺陷往往是由一定的条件触发而引起的，对产品的使用是有很大隐患的，其中可能隐藏产品设计的缺陷，而开发人员的解释只是猜测，并无法证明真实原因。

6）用户界面缺陷

用户界面设计需要按照用户的实际情况进行设计，符合用户的操作习惯，按钮的布局要符合规范，便于操作。

产品在开发中，可能借用了系统的一些快捷键，或者改变了这些快捷键的用途，给习惯于用键盘的用户造成很大的不便。

用户界面的缺陷一般都是些小问题，但用户的影响是比较大的，这部分缺陷，测试人员容易忽略，重点关注在产品的功能测试上。

7）系统环境配置缺陷

系统升级或者更新一些补丁之后，往往存在产品工作出现问题的情况。有些产品对系统的兼容性是有问题的，且产品测试也一般在一个固定的系统上运行，从而产品运行环境测试是容易忽略的地方。

8）用户管理缺陷

用户管理是产品的一项附加功能，对不同用户设置不同的权限。在测试时，一般都是采用管理员的身份进行测试的，从而忽略了对其他用户的测试，产品在使用中产生一些问题。

缺陷被处理以后，应及时得到验证测试。缺陷的处理可能会引入新的问题，因而需要将测试结果及时反馈给开发人员，此时开发人员可能还记得自己是怎么改的代码，并能够立即处理该问题。等待的时间越长，开发人员所记得的内容就越少，修改起来也就越困难。

13.1.2　产品缺陷类型

缺陷是客观存在于产品之中的，是由于某些条件激发后出现的，所以没有发现缺陷，并不代表产品中不存在缺陷，只是触发条件没有满足罢了。为了尽可能地发现产品中的缺陷，需要对产品的输入条件（即操作及组合情况等）进行细化分解，尽可能地覆盖产品在使用中的各种情况，这样测试才是比较全面的。

常见的缺陷类型如下。

1．功能不满足要求

功能不满足要求是指产品不满足用户需求所要求的功能；或者是根本无法使用，功能没有实现；或者使用出现异常，无法正常使用。如一项产品的功能可以根据环境条件的变化，自动执行某一操作，若执行后出现故障无法继续运行，这种情况就属于这类缺陷。

不满足用户需求的缺陷主要表现在需求有误、需求逻辑错误、需求不完备、需求文档设计问题、需求更改等，需求是产品设计的依据，需求检查测试是测试中重要的一部分。

功能不满足要求还表现在不符合行业标准、设计不合理、设计变更带来的缺陷等。

还有一种情况，就是功能缺失，用户所要求的功能，产品中没有实现，这些都是比较严重的缺陷。

功能不满足要求还体现在对功能的理解上，对一项功能认识上的差异会造成不同的结果，这是致命的错误，可能颠覆所有的设计过程。曾经遇到一个项目，开发是根据产品的技术条件进行的，认为室内外的 CAN 通信线为通道，技术条件中对通道的中断 30s 前后有不同的操作，而在进行认证测试时，认证人员认为这不是通道，是属于内部的设备，站与站之间的通道才是通道，认识上的差异造成了功能的不符合要求，这是前期对标准的理解造成的。

2．产品使用不方便

评价产品好坏重要的一个方面就是易用性，产品要易于操作，易于使用。一个产品功能不管多么完善，如果难以操作，也不算是一个好的产品。

产品的设计目的是在现场使用，提高工作效率，为使用和操作人员带来方便。在产品设计时，需要考虑现场的条件、使用人员的要求，需要在使用者的立场上开发产品，不仅仅是用户要求的实现，而且还要易于操作、方便使用。一些比较成熟的公司都会注意这一点，这也是他们产品受到欢迎的原因。

3．提供功能不充分

提供功能不充分是指产品实现的功能不能完全代表使用者的意愿，只是部分满足了使用者的要求，造成这种问题的主要原因是产品在开发前期对需求的分析不够完善，对用户需求没有全面分析。

产品的功能只是片面的满足了用户的要求，如一个项目执行某种操作，出现其记录缺失、不一致、重复等情况都是功能的不充分。

4．信息响应互动问题

用户需要在操作产品后，产品得到及时的响应和信息反馈，并给出相应的提示信息，如果一个产品操作后，没有执行，也没有信息提示，这是产品相当糟糕的表现。产品执行成功与否，都应给出信息。若执行成功，应给出执行后的相关信息。若未执行成功，则需要给出未执行成功的原因，以达到与使用者良好的互动。

使用者是最不愿意看到产品在操作后，没有执行，也没有信息提示，这种情况会让使用者无从下手，只能联系厂家进行维修，给使用者带来很大的不便。

5．故障判断处理异常

产品故障是客观存在的，产品设计时，应考虑到这些情况，并进行合理的处理，不至于使产品不知所措，出现异常中断。此类缺陷主要表现在异常处理有误或未做异常处理。

最具代表性的问题就是产品设计没有采集关键器件的状态，没有查知设备的好坏状态，一旦出现故障，产品仍然在执行操作，这是不符合用户要求的。

软件设计中，要考虑软件的各个出口，并对每个出口进行处理，如果由于某种错误导致死机，应进行及时地复位，这就是设置看门狗的原因。

产品在功能设计时，相当一部分的时间在处理故障设计，提高产品的可靠性，增强产品的易用性。

6．实现与编码缺陷

实现与编码缺陷主要表现在编码错误、违背编码原则和标准、编码不规范、编码执行效率低、易出现死机等。

程序编写人员一般有自己的一套编程习惯，在设计中往往习惯于自己的编程习惯，并没有考虑到此习惯是否符合标准及规范要求。

7．数据边界问题

产品对一定范围内的数据有正常的处理，而对范围外的数据不做处理，如果变量及边界的声明存在问题，那么对不合法的数据会产生错误的处理，不满足设计要求。

可怕的是，在边界处出现程序无法处理的现象，程序出现死机，产品因而无法使用。数据边界问题是常见的缺陷问题。

8．精度问题

产品对数据的精度有相关的要求，规定其误差不能大于某一数值，出现精度问题的原因可能是由于计算的错误、产品的零漂及补偿的问题。

精度的测量是要求在整个量程范围内的，即量程内每个点的采集精度都需要满足要求，测试时，应选取尽可能多的点进行测量。

9．长时间运行的问题

长时间运行的问题是产品开始运行时很正常，运行一段时间之后出现的问题，最典型的就是运行缓慢、查询功能异常。

长时间的运行属于老化测试和压力测试，产品设计要求在各种条件下，产品都能正常可靠工作。产品运行产生的 LOG 文件使产品运行缓慢，不合理的查询机制使查询的效率大大降低，通过长时间的测试来测试产品的稳定性。

10．人机界面错误

人机界面错误是指用户界面中图片、文字、按钮等信息表述有误，界面分布排列不合理、颜色搭配欠佳等情况。

11．不同硬件环境下产生的错误

有时对产品测试时，不同的硬件环境产生不同的测试结果，这也是产品测试对环境要求及认证测试只对样品负责的原因。

不同硬件环境下产生的错误还包括硬件设备的故障、系统设备抗扰性差及在各种测试环境下功能失效等。因此要求对产品在现场使用的各种硬件组成方式都进行测试，以测试出产品在各种配置下的工作状态及测试产品的兼容能力。

12．版本控制产生的错误

版本控制产生的错误属于项目管理的问题。产品中出现的缺陷已经进行修改处理，但在版本的升级中却没有处理，使原本的缺陷依然存在，对后期的测试产生不良的影响。这种错误在产品的软件中比较明显，这也是现场不乐意更换版本的原因，因为更换后可能还没有老版本稳定。

设计人员更新程序也是需要谨慎的，检查之前的缺陷是否都得到了处理，并且必须得到测试人员的全面测试以后，才可以在现场进行使用。对测试人员来说，产品测试需要严格依据技术条件和用户需求进行测试，不依赖于设计人员的描述，不管是版本的升级，还是修补，都需要进行全面的测试。

13．操作维护文档错误

操作维护文档错误存在于产品的操作使用手册和维护手册中，其表述的不准确和错误处理

等都会误导用户，延误问题的处理时机，可能会造成更大的损失，从而带来巨大的负面影响。

操作维护文档错误是比较常见的，设计人员一般不注重文档的整理，没有详细地说明操作步骤，而且可能还存在对操作的准确性描述。因此文档测试在发布测试中是重要的一项测试。

依据缺陷是否可以复现，可以把缺陷分为可复现和不可复现两种。

（1）可复现的缺陷。通过一定的操作步骤和测试方法，缺陷问题可以被复现出来，这种缺陷比较容易解决，开发人员只需跟踪产品的处理过程，就可以比较容易发现问题，分析出缺陷的原因，并进行解决。

（2）不可复现的缺陷。通过操作步骤和测试方法，缺陷不可以被复现，这种缺陷对产品的使用是有很大隐患的。开发人员对这些缺陷是比较头疼的，无法掌握缺陷出现的规律，也无法分析缺陷出现的原因，更谈不上对缺陷的处理了，因此此类缺陷是无法得到控制的。

对于不可复现的缺陷，应从两方面进行处理。一方面，测试人员需要尽可能地搜集缺陷出现时的信息，通过各种测试方法对其进行复现；另一方面，设计人员对提供的信息进行详细的分析，分析可以出现问题的方面，对这些方面进行认真的检查，检查设计漏洞，有些时候是可以找出原因的，只是花费的时间和精力是比较大的。

对于一些不可复现的缺陷，还可以采取有效的措施进行规避，通过缺陷的表现，完善产品的设计。如出现了通信中断的现象，无法找到原因，在要求不高的系统中，就可以在设计上进行复位和重连，以使通信正常。

13.1.3 缺陷管理作用

缺陷管理是一种科学的质量管理技术，它能在完善产品质量的同时，帮助项目管理者提高管理能力。其具体作用体现在以下几个方面。

1. 规范设计和测试流程

缺陷管理是通过对缺陷的处理过程进行跟踪管理，实现对缺陷的管理与控制。缺陷管理可以引入到产品的设计开发过程和测试过程中去，补充设计与测试流程，使设计与测试流程更完善。通过设计与测试流程，可以减少产品的风险，实现对产品质量的控制。

缺陷管理的流程可以直接对产品的设计与测试流程进行完善细化。设计与测试流程规范产品的设计与测试，正所谓“没有规矩，不成方圆”，完善合理的设计与测试流程，可以对产品的质量进行有效的控制。

2. 减少沟通成本

缺陷管理减少了相关人员面与面之间的沟通，通过管理工具，实现了缺陷的状态转移，保证了缺陷的处理过程记录，减少设计人员与测试人员的沟通成本，为产品的设计与测试赢得了充足的时间。

缺陷管理确保了所有问题的及时处理，降低了缺陷的修复成本，保证了产品的质量。

3. 保证了缺陷的质量

传统的面与面之间的沟通交流，虽然很直观，但是可能造成缺陷的信息错误、缺失或不完



整，因为这种沟通方式，大都是在产品测试完成以后集中进行的沟通，产品缺陷的细节可能存在出入。缺陷的处理流程要求及时地将缺陷的详细信息进行提交，避免沟通过程中产生的信息失真，保证缺陷的真实描述和其质量。

缺陷管理也在一定程度上减少了争论、扯皮等情况，避免了时间的浪费，节约了产品的设计与开发成本。

4．改进产品设计

缺陷管理通过对缺陷的统计与分析，明确产品存在的问题，采取有效的措施，改进产品的质量。

对缺陷前置输入条件的分析可以用来帮助完善产品的设计，综合考虑产品工作的各种情况，改进产品的设计。缺陷管理分析缺陷的规律，可以帮助设计人员分析缺陷的原因和解决问题。

5．财富积累

通过缺陷分析，可以得出设计与测试中的经验和教训，这些都是宝贵的财富。在以后的产品设计与测试中，吸取失败的教训，推广成功的项目经验，有利于提高设计与测试的质量，进而提高产品的质量。

13.2 缺陷管理技术

缺陷管理是基于缺陷的生命周期进行的，缺陷从提交到关闭，经过一系列的阶段。缺陷的生命周期是遵循缺陷的处理流程的。

缺陷的生命周期包括提交、打开、处理、验证、重新打开、关闭六个阶段，缺陷提交以后，经过测试负责人审核，审核通过则打开缺陷，否则取消缺陷，也就是关闭缺陷，缺陷打开后经过设计人员处理，处理后转测试人员验证，验证通过后，关闭缺陷，否则重新打开缺陷。

缺陷的状态根据缺陷处于的阶段而发生变化，缺陷状态的变化表示缺陷所处的阶段不同，根据具体的情况有不同的分支和流向，下文将从缺陷状态角度进行具体的阐述。

缺陷管理的核心就是缺陷的跟踪管理，对缺陷的处理过程进行跟踪控制，对过程记录进行备案，随时可以查询缺陷的实时状态和处理过程。

缺陷被关闭以后，需要进行缺陷分析，分析缺陷的分布、概率及原因，掌握缺陷的规律，以采取有效的措施来防范缺陷的发生。缺陷分析可以得出产品中的缺陷情况，分析缺陷的影响范围，为产品的改进提供依据。

缺陷管理与项目管理等有密切的关系，缺陷管理是贯穿于产品的项目管理之中的，项目管理一大部分工作内容为缺陷的处理、综合时间、人力等资源进行合理的分配与协调，通过不断的修复控制产品的质量。

13.2.1 缺陷管理流程

1. 缺陷的生命周期

缺陷管理流程需要结合缺陷生命周期，缺陷生命周期是指从发现缺陷到完成缺陷处理的过程。这个过程主要有缺陷提交、缺陷打开、缺陷处理、缺陷验证、缺陷重新打开、缺陷关闭，如图 13.2 所示。

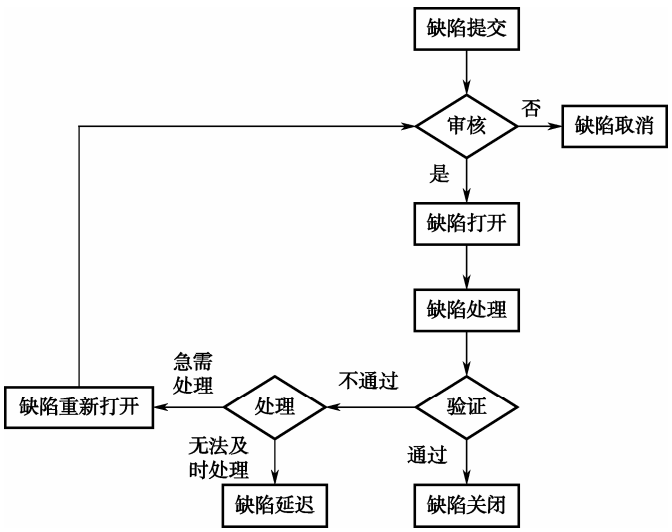


图 13.2　缺陷生命周期示意图

（1）缺陷提交是由测试人员进行提交的。根据在测试中出现的问题，连同测试步骤及产品表现一起提交，可以通过管理工具进行提交。缺陷提交后，测试负责人会看到，然后进行审核，审核通过置为“打开”状态，审核不通过则置为“取消”状态。

（2）缺陷打开以后，测试负责人对任务进行分配，与项目相关的人员都可以看到此缺陷，然后相应的处理人员进行修改，并对缺陷的处理过程进行详细描述，如果可以修改，描述大概的处理过程及采取的措施；如果无法修改，则需要说明原因理由。测试负责人员根据这些信息安排下一步的工作。

（3）缺陷处理以后，缺陷的状态会置为“待验证”状态，这时测试人员可以进行验证测试，如果验证通过，则关闭缺陷；如果没有通过则置为“重新打开”状态。缺陷处理可能会引入新的缺陷，因此测试人员在验证时，需要针对与之相关的所有项目进行测试。已测试产品修改的效果，重点测试产品的修改是否会带来新的缺陷，这也是难点，我们并不能对产品修改的影响范围作出明确的界定，因此测试范围也不能确定，这也是项目需要全回归测试的原因。

（4）如果由于某些客观原因，造成此缺陷无法及时进行处理，当测试与开发负责人达成共识后，可以将缺陷置为“延迟处理”状态，然后在产品的下一版本中进行处理。

（5）缺陷关闭以后，缺陷的生命周期已经结束，但对于缺陷管理来说，还没有结束，还需要对缺陷进行统计分析，统计缺陷出现的概率、缺陷的分布、存在的缺陷及其规避措施，积累

测试经验，提高测试人员的测试水平。

2．缺陷的状态

在缺陷的生命周期中，不同的阶段缺陷存在不同的状态。缺陷状态的转移示意图如图 13.3 所示。

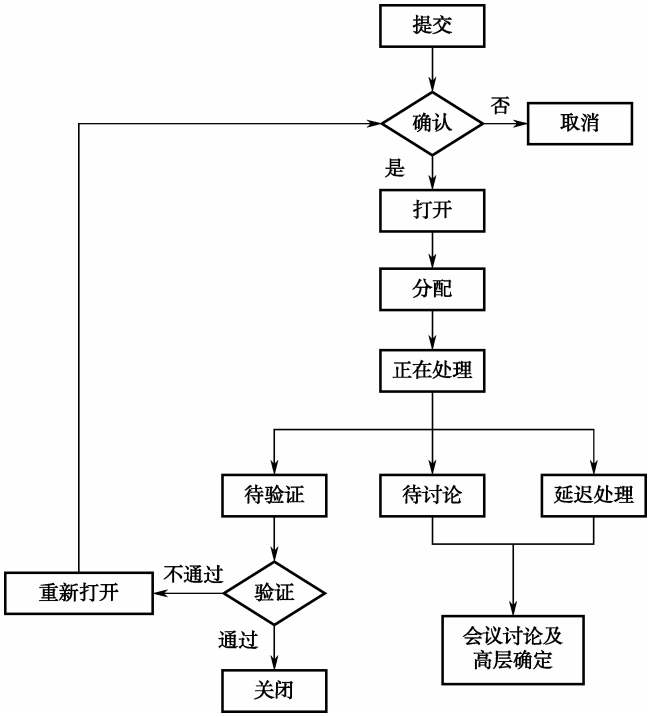


图 13.3　缺陷状态的转移示意图

1）提交状态

测试人员录入缺陷以后，缺陷为提交状态，等待测试负责人的确认。

2）打开状态

测试负责人对测试人员提交的缺陷进行审核，审核通过，缺陷为打开状态。

3）取消状态

如果测试负责人审核不通过，即缺陷不是真正的产品缺陷，可能是由于误解而引起的，那么缺陷会被置为取消状态。

4）确认状态

按照缺陷描述的操作步骤进行缺陷的重现，如果可以重现，缺陷为确认状态；如果不重现，可能是缺少必要的信息，或者缺陷是不可复现的。前者测试人员可以补充操作的详细步骤，后者只能通过相关的手段进行避免。缺陷需要及时确认，如果缺陷没有得到及时的确认，可能会影响到缺陷的级别和处理。

5）分配状态

是由项目经理根据开发设计分工，将缺陷分配给指定的人员进行处理。目前，产品的开发一般是模块化的设计，每个人负责一个或多个模块，最后再进行集成。

6）正在处理

开发人员接到分配任务以后，将缺陷置为正在处理状态，表明此缺陷正在进行解决。

7）处理过程中状态

缺陷在处理过程中，可能产生多个状态，如待讨论、待验证、延迟处理等状态。

① 待讨论状态：开发人员可能认为某一个缺陷是重复的、需要提供更多的信息或不是缺陷，就需要进行讨论，通过会议评审，确定缺陷是否需要修改。

② 待验证状态：开发人员进行了缺陷的修改工作，也完成了必要的测试，等待测试人员的验证测试，此时缺陷为待验证状态。

③ 延迟处理状态：开发人员可能认为缺陷处理难度大、时间紧张等原因，决定将在下一版本中进行处理，或者这个缺陷不是很严重，不需要立刻修复，这个缺陷跟当前发布的这个版本没有直接关系等。

8）重新打开

如果产品在修复之后，依然出现同样的问题，那么测试人员可以把状态标记为“重新打开”，开发人员继续对缺陷问题进行处理。

验证后，可能会产生新的缺陷，需要进行提交并处理。往往在缺陷修改后，会产生一些其他的问题，这也是产品需要进行全回归测试的原因。

缺陷验证一方面保证缺陷问题被验证，另一方面也要进行与之相关的功能测试，以验证缺陷修改是否引入了新的缺陷。

9）关闭

通过验证这个缺陷的修复结果，其若是已经得到了解决的，此时测试人员就可以关闭缺陷。

3．缺陷的跟踪管理

缺陷的跟踪管理流程是基于其生命周期的，缺陷跟踪将缺陷处理过程划分为以下几个步骤。通过缺陷的跟踪管理，提高产品的稳定可靠性。缺陷管理的跟踪管理流程示意图如图 13.4 所示。

1）缺陷发现

任何不符合设计预期和不满足用户需求的问题都可以定义为缺陷，缺陷包括产品开发中的各个阶段，无论是正式测试还是日常使用中发现的缺陷都是有效的，都需要纳入产品的缺陷库管理。

测试人员在发现缺陷后，还需做一些验证工作，看发现的缺陷是否可重现，了解缺陷出现的规律和条件，并尽量多收集一些信息，便于后期的缺陷处理工作。

2）缺陷提交

发现缺陷后，需要及时提交至缺陷库，提交时，缺陷主题要明确，描述也要详细，一般应包括缺陷发现日期时间、缺陷发现人员、缺陷发现地点、严重程度、优先级、缺陷发现的项目型号及应用软件环境、缺陷复现规律、缺陷处理建议等内容。

3）缺陷审核

一般由测试负责人对测试工程师提交的缺陷进行审核，审核信息包括：验证和确认缺陷的有效性，检查测试步骤是否正确、对缺陷的描述是否简洁准确、缺陷是否可以重现等。

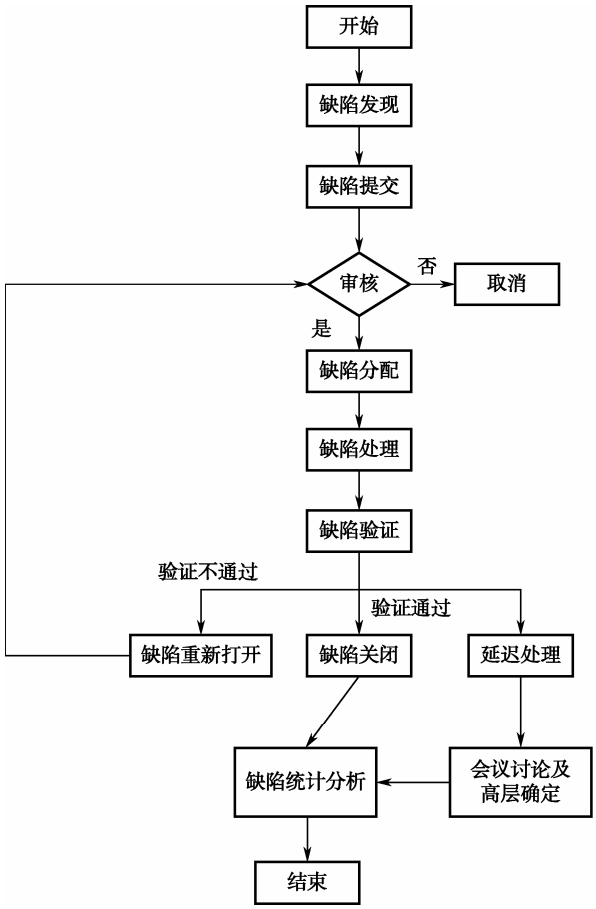


图 13.4　缺陷跟踪管理示意图

重点审核测试方法的正确性，即测试方法是否合理，是否采用了有效的输入条件，以及是否客观存在。比如在一个检测火车车轮的系统中，两个车轮向不同的方向滑动，就没有必要进行测试，这种情况不是客观存在的，且是无效的。

4）缺陷分配

产品的缺陷被打开以后，一般由项目经理根据缺陷出现的模块，安排模块设计人员处理此缺陷，有些问题可能不能明确地划分模块，可以指定一个人负责，也可以找其他相关设计人员进行配合。

5）缺陷处理

开发人员根据收到的问题报告，确定问题产生的原因，如果涉及的缺陷相对复杂时，可能需要进行争议缺陷的评审，以确定缺陷是否需要修改，或是修改所采用的具体方法。

开发人员经过问题分析，可能会有三种情况发生。一是缺陷现象是正常的(不是缺陷)，即测试不理解或不了解有关背景造成理解错误；二是该缺陷不需要处理；三是该缺陷经过处理并通过自我验证。对于前两种情况，经过开发人员与测试人员或测试负责人核实后，写明不需要处理的原因即可，对于第三种情况，可使之进入待验证状态，说明设计人员已完成的问题处理工作，等待测试人员进行验证。

缺陷的过程中需要记录：解决方式、解决时间、修复版本、缺陷产生原因、缺陷分类、修

复工时、修复人员、预防方法、备注等。

6）缺陷验证

开发人员将缺陷修改后，测试人员则进行验证，对问题涉及的功能进行验证。验证工作会产生两种结果，一是通过验证，填写验证过程说明后，缺陷关闭；二是不通过验证，缺陷被重新打开，填写为什么没有通过验证，缺陷回到开发人员处重新解决，直至最后通过验证。

测试人员验证产品的修改结果，需要记录：验证人、关闭日期、验证工时、验证结果、备注。对于那些涉及范围较大的修改需要进行回归测试，以避免软件修改影响到其他正常功能模块的使用。

7）缺陷关闭

缺陷关闭是整个缺陷生命周期的最后环节。一般情况下，缺陷从提交开始，经过分配、打开处理、待验证通过后，便自然关闭。但有些时候，某个缺陷暂时不能处理或暂时不需要处理，自提交后的任何阶段均可以直接关闭，当然，这种情况需要经过相关人员的讨论分析，确定缺陷是否需要关闭。

8）缺陷统计分析

产品测试完成后，需要对测试出现的问题进行统计分析，为产品的开发和测试积累经验，包括设计方法和测试方法等，设计如何防范缺陷问题的发生及产品测试时，哪些方面容易出现问题，这些都是不可多得的经验财富。

对缺陷出现的概率及分布进行统计，哪些是系统的薄弱环节，哪些错误可以进行规避，哪些功能可以进行完善，这对产品的改进有着重大的意义。

通过缺陷跟踪的处理过程，确保发现的所有问题进行了妥善的处置，提高了产品的可靠性，从而保证了产品的质量。

13.2.2 测试缺陷分析

产品缺陷不只是通常所说的产品中存在的错误或者疏忽，即俗称的 BUG，其范围更大，除了程序外还包括其相关产品：项目计划、需求规格说明、设计文档、测试用例、用户手册等存在的错误和问题。

在产品开发整个生命周期中任何背离需求、无法正确完成用户所需求的功能问题，包括存在于组件、设备或系统软件中因异常条件不支持等都属于缺陷的范畴。

产品测试的任务就是发现系统的缺陷，保证产品的优良品质，但是产品中是不可能没有缺陷的。即使开发人员，包括测试人员尽了努力，也是无法完全发现和消除缺陷。如何做到最大限度地发现系统的缺陷，人们首先想到的是提高开发人员的素质和责任心、科学地应用测试方法和制定优秀的测试方案。但这是不够的，还需要实施缺陷分析。

缺陷分析是将产品开发、运行、测试过程中产生的缺陷进行必要的收集，对缺陷的信息进行分类和汇总统计，计算分析指标，编写分析报告的活动。

缺陷是在产品中客观存在的，任何产品都存在缺陷，只是存在缺陷的优先级和严重程度不同而已，缺陷分析的目的是了解缺陷的分布及出现的概率，分析避免出现这些缺陷的措施，以提高产品的稳定可靠性。

通过缺陷分析，发现各种类型缺陷发生的概率，特别是无法重现的问题缺陷，更需要进行

概率的分析，掌握缺陷集中的区域、明晰缺陷发展趋势、了解缺陷产生的主要原因，以便有针对性地提出遏制缺陷发生的措施、降低缺陷数量及出现的概率。

缺陷分析本质上是对缺陷中包含的信息进行收集、汇总、分类之后使用统计方法或者分析模型得出的分析结果。该结果可以用来度量产品开发过程中工作产品的质量，了解缺陷集中的区域，分析缺陷的发展趋势，这对于产品的改进具有十分重要的参考价值。

从缺陷的分析方法来看主要包括分类汇总统计、计算分析指标、定性分析。

1．分类汇总统计

根据某个或多个缺陷要素进行分类汇总，或组合多个要素进行统计。一般可以从缺陷严重级别、分布情况、状态、来源、根本原因等方面进行统计。

2．计算分析指标

通过对收集到的缺陷数据进行筛选后，根据度量指标公式进行计算。一般可以从产品质量、可靠性等方面入手，对缺陷发现和修复效率及缺陷修复成本等指标进行度量。

3．定性分析

根据统计分析的结论进行开会讨论或经验交流，分析原因，提出改进措施。

13.2.3　测试缺陷管理

缺陷管理是从缺陷产生概率和趋势中寻找规律，有针对性地加强相关环节，避免同样错误再次出现，规避无法处理的缺陷。对缺陷进行管理的最终目标是最大限度地减少缺陷的出现率，从而提高产品的质量。

通过缺陷管理，使测试中发现的错误能够及时的得到解决，修正产品，使产品系统更加完善，产品的质量更高，从而减少出现故障的概率，保证产品稳定可靠运行。

缺陷管理是贯穿于产品整个开发过程之中的，与项目范围管理、时间管理、成本管理、质量管理、人力管理、沟通管理、风险管理和版本控制等有密切的关系。通过缺陷处理的过程来整合管理，实现有效的产品控制。

1．缺陷管理和项目范围管理

项目范围管理中最主要的内容就是对项目的变更进行控制。缺陷包括软件错误、硬件故障、客户变更，在项目管理中可以将客户变更作为改进类缺陷统一管理，对其进行工作分配，跟踪修改过程，验证处理结果，从缺陷的处理过程中获得人力和时间成本，对其进行核算，实现对开发成本的有效控制。

2．缺陷管理和项目时间管理

项目时间管理也就是对产品开发的进度进行控制，需要将复杂的工作进行拆分，确定每项任务执行的人员和时间。将缺陷视为工作任务，根据缺陷的严重程度和优先级来安排人员和时间，从而实现对进度的控制。

产品的进度往往受到缺陷的影响，由于前期对缺陷的评估欠佳，使得测试过程中的缺陷处理花费很多的时间，这就要求开发阶段进行全面的设计，加强设计的评审，实现对产品质量的控制，以减少缺陷的产生，使项目开发可以按照计划有效地运行。

3．缺陷管理和项目成本人力管理

缺陷管理会产生人力与时间成本，主要包括缺陷提交、缺陷确认、缺陷分配、缺陷修复、缺陷验证等所花费的工时，根据人力成本与工作量，评估开发人员的效率，达到对人力及成本的控制。

4．缺陷管理和沟通管理

项目的管理过程中，需要不断地进行沟通，沟通的目的是为了在项目组成员之间交换信息、拓宽思路、统一认识，减少开发成本。

沟通最主要的成本来自两个方面。一是沟通所花费的时间和精力；二是沟通过程中信息的失真和损失。沟通有多种方式，有效的沟通可以大大减少沟通成本。

目前，有很多的缺陷管理工具，按照缺陷处理过程建立一种统一的沟通机制，以降低面对面沟通的次数，避免信息传递的失真，通过缺陷管理工具，开发人员可以及时收到产品中的缺陷问题，及时进行修改，测试人员根据处理情况进行统一验证，项目的管理人员可以随时查询产品中的问题，了解产品的质量状况，这种沟通机制使各项目组成员按照既定任务各司其职，减少了不必要的面与面的沟通，节约了时间。

5．缺陷管理和质量管理

产品缺陷与产品的质量密切相关，缺陷的数量、优先级、严重程度直接影响产品的质量，通过对缺陷的提交、处理、验证、关闭等处理过程，控制产品的质量。缺陷管理是产品质量管理中重要的一部分，产品的缺陷得到控制，产品的质量才得以提高。

缺陷管理是一个闭环活动，需要控制整个过程，也就是每个阶段需要有记录，有处理人，有相关信息，每个阶段的活动必须得到保证，这样才可以称得上有效的缺陷管理，才能进一步控制产品的质量。

CMM（Capability Maturity Model） 是当前国际上比较流行的质量保障理论，是能力、成熟度模型的缩写。它致力于软件开发过程中的管理及工程能力的提高与评估，该模型已经在大型信息技术企业中得到广泛应用，已成为软件开发过程中改进与评估的工业标准。CMM 总共分为五个等级，在各个不同的等级中都对缺陷管理都有着明确的定义。

1）第一级：初始级

在这一级别里，没有人对软件开发过程中产生的缺陷进行管理，人们发现并纠正缺陷，但是没有人去记录已经发现的缺陷，也没有人知道在新的软件版本里，哪些缺陷被纠正了，还有哪些缺陷有待被纠正。

缺陷是单独存在的，没有人去分析缺陷之间的联系及出现的概率。

2）第二级：可重复级

缺陷管理的过程被应用在单一的项目过程中，缺陷被搜集和记录，其经验和教训仅限于在该项目中应用，没有应用于其他项目。

3）第三级：已定义级

与可重复级相比，已定义级是一个归纳和演绎的过程，该级要求组织从各个项目组内分析和汇总缺陷管理的经验和教训，以制定出组织级的缺陷管理方法，并为组织内项目的缺陷管理提供可剪裁的模板，为各个项目所使用，这个过程中成功的经验得到了有效地传播，失败的教训被各个项目组引以为戒。

4）第四级：已管理级

通过对缺陷管理数据的收集和分析，制定出量化收集和控制缺陷的方式方法，并应用于各个项目之中。

对缺陷进行分析，对于无法更改或比较不容易处理的缺陷制定合理的方法以进行规避。从约定上避免缺陷的发生，以提高产品的质量。

5）第五级：持续优化级

在量化和控制基础上，改进组织内的软件过程能力，优化产品设计流程。通过持续的改进，提高软件质量，预防缺陷的产生。

6．缺陷管理和版本管理

缺陷与产品的版本密切相关，其是依附于产品的软硬件版本的，也就是说，它是以产品为基础的，且产品的修改可能会产生新的缺陷。

缺陷中包含了需要修复的软件版本信息和硬件设备，不论项目是大是小，都避免不了对功能的反复调整，产品的版本因此而发生变化，因此需要对产品的版本进行控制。

对版本的控制，可以从一定意义上控制产品的缺陷，缺陷是存在某产品版本中的，在不同应用场合可以保留。

7．缺陷管理和风险管理

缺陷可能导致风险，风险从一定意义上讲，是在控制缺陷，对缺陷进行修改验证，以及规避缺陷的发生。风险是可能导致项目失败的因素，风险管理强调的是对存在风险的预计，以及对发生风险的控制。

13.3 小结

缺陷管理是贯穿于产品设计流程之中的，产品的设计包括产品缺陷的处理过程，通过不断修复产品中的缺陷，才能保证产品稳定可靠运行。

完整的缺陷描述应该是包括测试输入条件、测试中、测试后的产品系统表现，是一项完整的功能测试过程，需要详细描述缺陷的表现及什么情况下出现的，这些信息越详细，越有利于缺陷的复现、原因分析及解决。

出现缺陷的原因是多方面的，我们需要端正态度，对缺陷进行正确的认识，客观地看待缺陷的存在，设计人员需要积极地对待测试缺陷及用户要求，对产品进行优化和完善，提高产品的质量。

产品缺陷可以分为不同的类型。对缺陷的理解，可以帮助设计人员规避一些问题，提高设

计能力。也可以帮助测试人员拓展思维，很快地发现产品中存在的问题，对容易出现问题的方面进行重点测试，提高产品的测试质量。

缺陷管理在产品设计开发过程中发挥着积极的意义。在产品的设计规范中引入缺陷管理思想，可以优化产品设计开发流程与测试流程，加强对产品风险控制，减少产品的沟通成本，避免缺陷在传递过程中的信息失真，分析经验和教训，对产品和整个公司来说，都是不可多得的财富。

缺陷管理是对缺陷的整个生命周期进行控制与管理，对缺陷处理的各个阶段进行跟踪管理，积极协调资源，处理产品缺陷，保证产品稳定可靠运行。

通过缺陷分析，可以掌握缺陷的规律，对无法处理的缺陷，分析其概率和分布，制定有效的措施进行规避，从而实现对缺陷的控制。

缺陷管理与项目管理关系密切，缺陷管理是项目管理的一部分，做好缺陷管理，才能对产品的缺陷进行有效的控制，才能提高产品的质量。

出现缺陷时需要及时与开发人员进行沟通，并进行确认。

第 14 章

风险管理

本章主要介绍风险基础知识、范围及意义，分别从风险识别、风险分析、风险计划、风险控制、风险跟踪等方面介绍风险管理技术。

风险管理是对测试中的风险进行预测，并制定应对措施的一项管理技术，对测试中的风险进行控制，保证测试活动的顺利进行。

测试风险来源于多个方面，包括需求变更、测试过程、组织管理和人员风险，测试风险直接影响测试的质量和进度。

风险管理可以保证测试的顺利进行，保证测试的质量，降低风险造成的损失，我们应正确的认识风险、控制风险，主动对风险进行处理，提高对风险的控制能力。

风险识别是对测试中的风险进行预测，找出可能遇到的风险，可以结合其他项目测试经验，总结测试过程可能遇到的风险。风险识别主要存在于测试计划阶段，通过对风险的识别，提高测试计划的可执行性。

风险分析主要是对风险的影响方面进行分析，分析风险的严重程度，通过对风险的分析，提高对风险的认识。

风险计划是根据风险识别与风险分析的结果，制定可靠的应对措施，以降低风险对测试活动的影响，达到对风险的控制。

风险控制是在测试中出现风险时，进行适当的处理，减弱风险、转移风险，采取积极的应对措施，使风险得到控制，降低风险带来的影响。

风险跟踪是对风险的状态进行跟踪，掌控风险的走向，了解风险的趋势，更好地对风险进行控制与管理。

本章节将重点介绍风险管理技术。

14.1 概述

产品测试作为保证产品质量的重要手段，越来越引起人们的重视，而产品测试项目中存在着风险，如果能预先重视风险的评估，并对可能会出现的风险制定积极的应对计划，就可以在风险到来的时候，最大限度地避免风险或降低风险所带来的损失。

测试过程中的风险总是存在的，对测试活动中主要的风险进行识别和控制，并确定针对性的措施，避免风险发生，或者把风险降到最小。要想做好风险管理工作，就必须彻底改变测试

项目的管理方式，建立防患于未然的管理意识，并结合具体的实践工作不断地分析遇到的风险，总结各种风险的应对措施，指导实践，降低产品质量风险。

风险管理的目标由两个部分组成。风险发生前，尚未造成损失的风险管理目标；风险发生后，已经造成损失的风险管理目标。

风险发生前的目标是避免风险的可能发生；风险发生后的目标是对不可避免的风险尽可能减少风险发生造成的损失。风险发生后的目标是通过措施尽可能减少风险带来的损失，保障测试能够持续、顺利地进行，完成最终的测试目标。

有效的风险管理，可以保证测试活动的顺利进行，使测试不会因风险而中止或延期，及时调整测试策略，应对风险，保证测试的进度和质量。

风险管理可以减低风险带来的损失，保证测试的效率，使测试不会因风险而停滞和无法进行下去，减少项目的测试成本。

风险管理可以促进测试团队建设，提高应对风险的能力，提高对风险的预测能力和处理能力，进而提高测试技术水平。

14.1.1 风险管理基础

风险是在产品测试过程中可能发生的意外情况，可能对测试对象产生很大的影响，甚至导致测试失败。产品测试的风险管理就是对可能遇到的风险进行计划、识别、分析、控制、跟踪的全过程活动的总称。

1. 风险管理的组成

风险管理包括：风险识别、风险分析、风险计划、风险控制、风险跟踪等内容，风险管理是类似于缺陷管理，是一个闭环活动，从风险识别开始到风险跟踪结束。

风险识别是对可能存在的风险进行预估，预测可能存在的风险，它是为了实现对风险的分析与控制，减小风险带来的影响。

风险分析是在风险识别的基础上，对识别出来的风险进行分析评估，分析其严重程度及影响范围，分析风险出现的概率和优先级。

风险计划是根据风险分析的结果制定风险应对措施，使风险有效地得到控制。计划在风险的萌芽状态，采取措施，使风险转移或改变，从而使测试活动顺利进行。

风险控制主要是对风险进行控制，避免出现可以避免的风险，对不可避免的风险采取措施降低风险，将其转化为等级较低的风险，事先做好风险管理计划，当风险来临时可以更好地避免、转移或减低风险。

风险跟踪是对风险的变化趋势进行跟踪，以了解风险的状态，采取适当应对的措施，达到对风险的控制目的。

风险状态主要有三种：风险发生概率、风险发生影响、风险优先级。三者之间的关系如图 14.1 所示。

跟踪风险变化的趋势，根据风险的优先级选择处理风险的顺序，集中精力处理高优先级的工作，保证项目顺利完成目标。

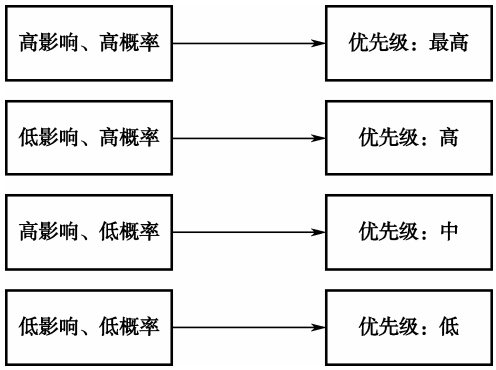


图 14.1　风险状态之间的关系

2．测试风险的来源

测试具有一定的技术特性和工程规律，同时，其也存在一定的风险，其风险主要来自测试计划、测试质量、技术风险、测试管理风险等方面。

1）实施计划风险

- 由于项目的前期整体设计，及设计阶段工作过程规划不合理，导致测试实施时间的延迟或失控。
- 项目交付周期短，开发的延迟使测试的时间很少，造成测试的不充分，测试的质量也无法得到保证。
- 对测试工作量估算不准确，也可能导致反复，使测试过程不可控，造成测试的延期。
- 测试环境也是影响测试进行的重要因素。如果测试环境不能按时完成搭建，测试就无法进行，使测试进度滞后。测试环境会由于采购人员变动、厂家供货能力、自然条件等多方面的影响，可能使产品的测试环境无法按照计划执行。
- 测试人员的变动直接影响测试计划的实施。一个正常的测试人员在参与测试之前，已经对项目进行了比较充分的了解，测试人员的变动，必须有新的成员补充进来，对项目进行熟悉，提高了测试的成本，使测试进度延迟。
- 时间安排不合理，使不能按时完成测试，造成测试的延期。

2）测试质量风险

测试质量风险是指测试后交付的产品、文档、数据中存在缺陷，缺陷在产品的生产环节中被隐藏起来，当设备在现场运行时，在某种条件下爆发，导致各类故障，如系统操作不便、业务处理错误、系统崩溃等。

测试是有限成本和有限时间下的活动，测试不可能发现产品中的所有缺陷，只能减少设计缺陷，很难保证所有情景和测试路径被验证。

软件缺陷作为系统质量缺陷的一种，不可避免地将被引入生产系统，带来系统的稳定运行风险。我们需要结合产品的运行条件，关注产品质量，管理并降低测试中的风险，尽量保证系统的严重故障被发现和被测试出来。

随着产品的运行，其可靠性在不断地提高，运行中的缺陷会被及时地进行修改和验证，产品的缺陷库也会不断地完善，从而实现对测试质量风险的控制。

测试质量风险往往是基于产品运行现场特定条件下发生的，对现场条件的分析，挖掘有效的测试方法，有利于对质量风险的控制。

3）技术风险

测试人员对测试系统的不够了解。在被测系统业务和技术比较复杂的情况下，测试如果对业务、新技术和相关背景不够了解，可能会不能够准确地分析出关键测试需求、深层次业务联系和故障多发点，也不可能制定出针对性的测试策略，测试设计也会因此存在问题。

对系统的不够了解，使在测试用例设计时必然存在偏差，测试项目可能存在遗漏，测试设计存在很大的问题，从而使测试的质量无法得到保证。

测试工具和测试设备也是制约测试活动的因素，没有适当的测试工具和设备，也就无法保证测试的顺利执行，且测试的覆盖率也会受到很大的限制。

测试结果依赖于产品的测试环境，包括产品的软硬件测试版本、环境的布置，测试环境与实际运行环境的差异，也会引起测试的差异。

测试是由具体的测试人员进行的，如果测试人员不负责任，测试实施过程中不够认真仔细，放过本来可以发现的问题，或分析不出测试运行现象中蕴藏的深层次问题，那么测试结论会与实际存在偏差。

在回归测试中，如果测试人员对产品修改引起的影响没有进行必要的测试，那么产生测试问题的概率是非常大的。

4）测试管理风险

常见的测试管理风险为：测试资源投入不足、测试实施计划不细致、测试过程不规范、测试质量没有标准要求、工作沟通不够、测试组织管理不够高效等。

- 当项目产品资源不足时，最先被压缩的通常是测试。如测试投入不足，可能造成测试人员紧张，测试人员承担的并行工作过多，过度加班，或者被迫缩短测试时间，简化测试步骤，压缩测试项目等，从而降低测试质量，带来测试风险。
- 部分项目的测试实施计划可实施性不强，由于对复杂工作环节（如对环境准备）的工作量估算不准，对实施进度、问题处理、测试总结等环节的控制和管理不足，实际使用时间超出预期，导致不能按计划完成测试实施，出现计划延迟。
- 部分团队过程管理不够规范，工作过程设计中测试分析、测试设计不够细致，导致主要工作步骤深度、质量不到位。工作过程缺少审核、审查、评估等环节，不能及时发现分析、设计、实施中的问题，把风险和产品缺陷转到了生产环节。
- 工作质量没有标准要求。大的测试项目实施要求所有测试设计、实施达到同样质量标准，需要采用统一的技术标准。部分测试团队没有质量标准要求，测试分析、测试设计粒度参差不齐，导致测试覆盖不完全，部分细节和业务情景被遗漏，测试实施质量出现偏差。
- 由于测试团队与业务、技术、运行部门沟通不足，获得的资料和背景信息不足，测试人员没有完整理解软件背景，没有获取深层次、真实的业务和测试需求，使测试不可避免出现遗漏和错误。
- 如果测试组织管理既不能有效管理和控制测试项目的实际运作，也不能严格控制和解决各环节的问题，从而无法有效推进测试工作进展，保障测试质量。



14.1.2　风险与管理措施

产品生命周期包括项目立项、需求分析、概要设计、详细设计、产品测试、运行维护六个阶段，产品测试之前的任何一个环节的不严谨都可能增加产品测试的风险，产品的测试活动也存在各种各样的风险，常见的风险有：需求风险、测试过程风险、测试组织和人员风险。

1. 测试风险的类型

1）需求风险

需求风险包括两方面的风险：需求分析偏差和需求变更。需求分析出现偏差是设计问题，需求变更是由用户引起的。

由于产品设计前期需求不够详细，可能对应该实现的个别功能没有提及，这样就会出现功能缺失，有时甚至会形成致命的风险，颠覆整个设计。

需求变更是用户新增需求或需求的改变，主要是由用户的原因引起的，其影响产品的设计与测试。

需求风险对产品的影响是比较大的，需求属于产品设计与测试的基础，根基的动摇势必影响整个设计建筑，在设计中应规避此类风险的发生，制定合理的措施应对此类风险。

产品设计和测试过程中，可能出现需求的变更，需求变更出现的阶段越靠后，影响越大，如何把握好需求的变更，减少需求变更带来的风险，成为影响整个产品成败的关键。

2）测试过程风险

在测试过程中，可能出现的风险有：测试用例与产品需求不符、测试任务分配不合理、测试人员对产品不熟悉、由于产品设计修改而使测试时间不够、测试用例没有全部执行、测试用例不全面、测试环境与实际运行有很大偏差、无法重现的问题、不完全回归测试带来的风险等。

测试用例与产品需求必须严格一致，否则，就会使测试工作走弯路，不但会影响测试效率，而且会影响测试效果，甚至会出现不能完成测试任务或由于测试不当出现不是问题的问题。

测试任务分配对于测试工作也非常重要，如果分配得当，就会起到事半功倍的效果；如果分配不当，就会影响测试的进度和质量。

必须对产品熟悉，才能做好产品测试，对测试产品的不了解将大大影响产品测试的质量和效率。在分配测试任务时，若未考虑测试人员的专业背景，就会使测试工作处于被动的局面，影响测试的效率和质量。

需求变更引起的设计变更，必然使测试延期，若交付时间紧急，则没有时间进行测试，对产品的质量是影响很大的。

测试用例由于各种原因没有得到测试，如测试条件不满足、测试人员遗漏等，使得测试不全面，可能使一部分设计缺陷无法被及时地发现，对产品的运行埋下很大的隐患。

测试用例的不全面，直接导致测试不全面，可能使产品的缺陷被隐藏起来，对产品的现场运行带来很大的风险。

测试环境与实际现场的不符，使得测试结果与实际测试有很大的偏差，这样测试结果是不可信的，没有任何参考意义。

无法重现的问题，使得此问题无法得到解决，此类问题一般是在特定的环境下和特定的条件下出现的，为产品的运行留下隐患。

不完全回归测试可能带来测试的不全面，遗漏产品修改带来的影响。由于受资源的限制，产品测试的时间很有限，因此不完全回归测试可能会带来测试质量的风险。

3）测试组织和人员风险

理想的测试组织应独立于产品的开发组织，测试组织与开发组织之间的关系影响测试结果。如果一个领导即管理开发又管理测试，势必会影响测试结果，测试出现的问题也可能会被弱化掉。

2．风险管理措施

1）需求风险管理

针对需求分析偏差带来的风险，需要在设计的前期与用户进行充分有效的沟通，挖掘产品的隐性需求，及时得到用户的确认，从而保证需求的准确。

需求变更应该得到控制，应该有一个流程来管理需求变更，否则，太多的需求变更可能会导致产品设计的失败。需求变更时应通过需求变更评审，分析需求变更的必要性及影响范围，包括测试项目的人力、物力、财力、管理、时间、质量、工作负荷等内部因素，以及资本、交付时间、项目成本情况等各个方面的影响。

需求变更确定后，采取适当可行的措施，减小需求变更带来的影响范围，使项目变更的风险降低到最小。

需求变更一般是比较大的设计变动，一般小的需求变更会在升级版本中进行，对变更的需求需要进行细致的分解。若是对原有功能的增加，则只需要在原来的基础上进行修改；若是原有功能的变更，则需要采取合理的方式实现新增的需求。

2）测试过程风险管理

测试用例应该与产品需求一致，充分建立在与开发共同的基础上，保证测试用例准确、全面。如果测试用例设计不到位，忽视了一些边界条件、深层次的逻辑、用户场景等，必然会带来测试风险。

测试任务应该结合实际情况进行合理分配，包括时间、人员、设备资源等，都需要进行协调评估，结合工期的要求，合理安排测试任务。

测试人员应充分地熟悉产品，对产品的应用环境、开发背景、功能、性能等都需要进行详细的了解，从而才能开展测试。

测试过程的风险需要前期测试人员与用户进行有效的沟通，参与现场调研，测试用例的设计者需要综合多方面的因素，参考各方面信息，尽可能地设计比较全面的测试用例，覆盖产品功能的各个路径，用完善的评审制度保证测试用例的质量，测试用例全面才能减少测试过程中的风险。

测试要保证有足够的时间，合理规划测试任务，对于能够并行的工作可以实行分头并进的工作方式，当一项测试工作无法开展时，可以做其他的测试工作，避免无效地等待。

测试环境需要按照现场实际运行的环境搭建，按照实际运行的配置，包括产品的硬件和软件，产品运行需要依赖于这两方面，任何的不同都可能带来问题。

如果是某个附加功能带来的问题，则可以去掉这部分功能，以降低由于修改此缺陷可能引起的某个原有功能上的缺陷的风险。

不完全回归测试时，对设计修改的影响方面进行详细的分析，扩大范围进行测试，降低因不完全回归测试时带来的风险。

3）测试组织和人员风险管理

应成立专门的测试组织，制定测试质量管理流程和质量保证手册，规范测试活动，保证测试的质量。

在产品的设计和测试中，不可避免人员的流动，增加项目的风险，因此及早预防是降低人员风险的基本策略。

对于关键的岗位，一般建议采用冗余复制的策略降低人员的风险。一方面，保持与关键岗位上的人员进行及时的沟通与交流，了解其工作状态；另一方面，培养人员参与这方面的工作，为产品的设计和测试储备人才。

建立良好的文档管理机制，包括项目组进度文档、个人进度文档（测试日志）、版本控制文档、整体技术文档（测试策略、测试用例）、个人技术文档（测试执行记录、缺陷报告）等。一旦出现人员的变动，其他人员则能够根据完整的文档尽早接手工作。

控制项目外包及兼职人员的比例，外包与兼职人员都是不确定的因素，核心部分的工作应有全职人员来担任，降低兼职人员带来的风险。

加强测试组内的技术交流，提高测试人员的工作技能，相互熟悉目前进行的测试工作和进度，使得在必要的时候及时接替工作。

利用测试空闲时间对测试人员进行产品培训或实际操作，不仅拓宽测试人员的知识面，减少测试人员的知识局限,还要兼顾个人的专业特长，使个人优势和整体优势得以发挥，有利于测试任务的圆满完成。

加强团队建设、营造良好的人际关系和工作氛围，为测试团队争得更多的荣誉和奖励，提高测试团队的凝聚力。良好的团队建设对于稳定项目组人员及提高生产效率都有不可忽视的作用。

风险管理的目的是降低风险带来的影响，控制风险的影响范围，提前做好风险管理计划和风险控制策略，从而可以更好地避免、转移或降低风险。

- 在执行项目计划做资源、时间、成本等的估算时，综合各方面因素，预测产品的风险，且要留有余地；
- 在项目开始前，制定风险管理计划，重点把握边界上可能会出现的变化和难以控制的因素，制定适当的预防和处理措施；
- 加强测试团队建设，重视人员队伍的培养，对每个关键性技术岗位培养后备人员，确保项目不受人员流动的严重影响；
- 制定工作机制和文档标准，保证文档的及时产生，便于项目知识的分享和移交；
- 对工作进行相互审查，不同的测试人员在不同的测试模块上相互调换，及时发现问题；
- 日常跟踪所有工作进程，及时发现风险的迹象，以避免风险。

14.1.3　风险管理意义

风险管理是对即将发生的或已经发生的风险进行管理，控制风险的影响范围，降低风险带来的损失，进而提高产品测试的质量，降低产品的成本。

测试风险是指由各种不确定因素令产品测试过程中及产品本身可能造成的伤害或损失。风险的最大特征是风险的不确定性，也就是说它无处不在，随时可能发生，也可能不发生。测试项目的风险管理在测试项目管理中有着十分重要的意义。

1．风险管理可以保障项目的顺利运行

有效的风险管理可以保障项目的顺利运行，风险分析应在测试规划阶段进行，并持续在整个测试过程中。通过规避风险，降低风险发生的概率，避免返工带来的成本上升。

风险管理有效地预测测试过程中的风险，对预知的风险进行规避，对已经发现的风险制定措施，一旦风险发生时能够迅速地做出反应，降低风险造成的损失。

2．风险管理促进团队建设

通过风险管理，提高测试团队应对突发风险的能力，提高测试管理水平，且进一步提高测试技能，通过面对面的风险分析讨论，使测试人员对可能遇到的风险做到心里有数，对意外情况进行充分的估计，当风险来临时，使其以平静的心态进行处理。

风险管理促进测试团队互相合作，进行资源协调，共同抵御测试风险，充分发挥测试人员的主观能动性，使测试团队建设获得良好的发展。

3．风险管理促进项目测试管理

通过对测试中的风险管理，使测试活动顺利进行，保证了测试按照计划进行，从而保证测试的质量。

测试管理主要是对测试进度和质量的管理、对资源的分配、处理测试过程的突发事件。测试过程的突发事件也就是风险，测试管理通过对测试风险的管理，提高测试管理水平，使风险防范从被动变为主动，避免返工带来的测试延期和成本上升。

4．风险管理提高测试人员处理问题的能力

通过在测试过程中对风险的管理与控制，不仅可以积极应对测试风险，而且对测试风险的处理还可以应用到其他测试项目中，提高测试人员对风险的处理能力。

通过对问题的处理，拓宽测试人员的思路，有利于对产品的测试，进行有利的探索性测试，提高产品测试的质量。

5．风险管理在产品质量管理中发挥重要的作用

风险的起因来自项目和产品研发过程中的不确定性，而这种不确定性就很可能给整个产品的质量带来各种各样的隐患。通过在产品测试过程中进行风险识别、风险分析和风险控制，从而进一步提高产品质量。

测试的价值是提供有价值的质量信息，暴露风险，而不是做决定或者直接产生改变。

对于一个可以重现的问题，它的危害往往更容易被相对准确地度量。所以即使这个缺陷最后被决定不予修复，测试人员也不要觉得气馁。因为这个不予修复的结果是经过论证的，与无法重现而直接取消是不一样的。

对于难以重现的问题，在我们没有重现它之前都蕴藏着无法把握的风险。我们知道风险带

来的影响受到两个因素的影响。一是风险发生的概率；二是风险带来的危害。

难以重现的缺陷虽然发生概率也许比较低（也不一定，因为也许只是你没有发现它出现的必要条件，而此条件有可能是经常发生的），但如果后果是严重的，那它带来的影响可能并不小。所以作为第一现场的目击者，测试人员最有责任和义务去多花一些时间和精力试图重现它。

14.2 风险管理技术

产品测试的风险是指产品测试过程中出现的或潜在的困难或问题。产品测试风险的发生可能导致产品的测试不够充分或者测试结果的不准确，导致产品交付使用时存在隐藏的问题，一旦这些问题爆发，可能会带来经济损失，更严重的可能还会带来人员伤亡。

产品测试的风险是不可避免的，它存在于整个产品测试过程之中，所以对产品测试风险的管理非常重要，必须尽力降低产品测试中所存在的风险，最大限度地保证质量和满足用户的需求。

测试过程中各阶段都存在风险：对产品的需求描述不准确所带来的风险、计划编写不准确所带来的风险、质量目标不清晰所带来的风险、人力的风险、测试环境的风险、测试工具及测试用例存在的风险等。

测试过程管理需要把风险纳入管理范围，从每个阶段横向分析，对风险进行全面识别，深入分析和有效监控，从而用以规避风险。

风险管理在产品设计和测试中发挥着重要的作用。一方面保证设计按计划进行，提高产品的质量，保证产品的开发进程；另一方面保证测试的顺利进行，尽可能地发现产品的设计缺陷，保证产品测试的质量。

风险管理的目的是通过管理产品开发生命周期中的风险，减少对测试项目造成不利影响的事件发生的可能性。风险管理包括风险识别、风险分析、风险计划、风险控制和风险跟踪等活动。

风险管理是产品测试过程中必不可少的一项工作。在测试项目实施中，必须严格按照风险管理计划对项目的风险进行管理，以规避风险或将风险降低到较低的程度。

风险管理，一般可以分成 5 个步骤，即风险识别、风险分析、风险计划、风险控制及风险跟踪。风险管理过程如图 14.2 所示。

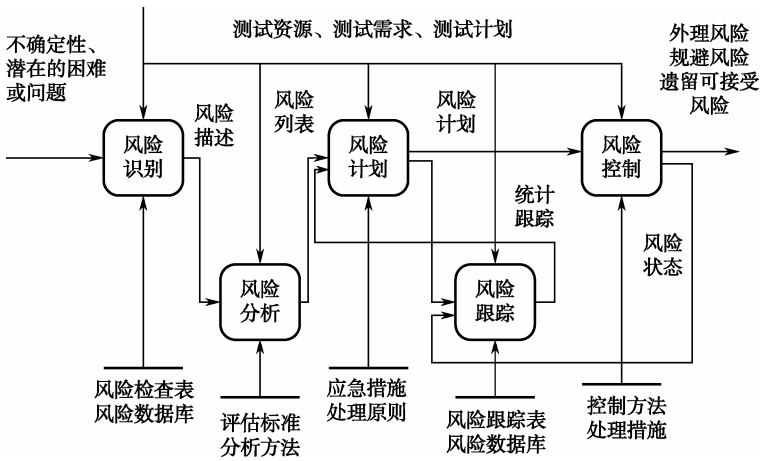


图 14.2　风险管理过程示意图

风险管理是一项尤其依赖于个人能力及经验的过程。聪明的人会从自己的经历中学习，智慧的人会从别人的经历中学习，没有反思，没有总结，就没有成长，只有我们不断反思、总结和别人交流，才能快速积累起这方面的经验。

14.2.1 风险识别

风险识别是识别可能会对产品设计或测试造成伤害或损失的不确定因素的过程。预测测试过程中可能存在的风险和影响测试进行的各种因素，这些不确定因素可能是同时存在的，也可能是重复的。

风险识别是用系统的方法确定威胁项目设计与测试的因素，识别风险有哪些、风险的原因是什么、在什么地方容易出现风险等。产品测试贯穿于产品设计的各个阶段，存在于产品的整个生命周期之中，测试管理人员通过对项目的开发背景、进度、人员、成本等相关因素，凭借以往测试项目曾经遇到的风险基础上，建立风险检查表。

风险识别贯穿于整个测试过程之中，随着测试的进行，可能出现新的风险，需要及时纳入风险管理库中，对风险进行识别控制。测试风险可以运用在其他的产品测试中，帮助测试管理人员更快更准确地识别风险。

风险识别应在项目的早期进行，在测试计划开始时就进行测试相关的风险识别，以明晰对产品测试构成威胁的因素，便于制定规避风险和降低风险的计划及策略。

风险识别过程是将不确定因素转变为明确的风险描述，并以文档的形式记录，为风险分析做准备，根据不同的组织和项目特征可采用不同的风险识别方法。不论是产品风险，还是项目测试风险，测试人员都可以通过专家咨询、独立评估、使用风险模板、头脑风暴法、检查表法、会议讨论等其中的一项或多项技术进行识别。

（1）测试风险识别可以借鉴以往测试经验，通过专家咨询，了解出现的风险类型，对测试资源进行评估，分析资源的状态和可能产生的风险。

（2）头脑风暴法是指利用测试相关人员的突发奇想进行风险识别，打破常规，这样可以产生比较特殊的风险。

（3）检查表法是指测试人员对用到的资源逐步进行检查，得出哪些资源满足条件，哪些资源不满足条件，其中不满足的就是风险。

（4）会议讨论是贯穿于整个风险管理之中的，其可以围绕测试范围、进度、沟通、质量等方面展开讨论，列举可能出现的风险，并逐项进行讨论和细化，识别测试风险。

风险识别需要进行记录，且以文档的形式进行记录，说明风险的原因、表现及应对措施。对于无法识别的风险是无法进行控制的，风险识别是风险管理的核心。

风险识别可以从以下 5 个方面进行。

- 范围角度：当前项目是否存在清晰的需求、需求是否复杂、市场定位是否明确等；
- 成本角度：项目的预算是多少、风险储备金是多少、资金是否充裕；
- 时间角度：工期要求是不是限定的、是不是签署了相关合同、进度和计划的可跟进性等；
- 质量角度：当前的技术方案是否存在风险、预研是否充分、人员的经验是否充足等；
- 人力角度：人力组成是否充分、关键人力是否得到保证、是否存在不可替代的人员等。

风险识别需要发挥群体力量，建立良好的沟通机制，培养团队成员的风险意识和团队归属



感，从而能够对管理人员的风险识别起到正向的纠正及补漏作用，对风险及处理方法达成统一认识，促进测试顺利进行。

在测试计划阶段需要考虑风险，有多种因素可能带来测试风险，主要有时间短、新设备、复杂程度、使用频率、无法测试的功能等。

（1）时间短必然不能进行充分的测试，带来的风险也是比较大的。实际情况下往往是由于设计的延期造成了测试总时间缩短，难以保证测试的质量。时间紧迫使得资源的可用性变得更加重要，测试计划必须利用可用的时间进行调整，确定测试项，对产品的测试用例进行裁剪，保证测试的质量。

（2）新设备和新技术的采用一般存在较大的风险，需要通过连续时间的稳定运行和各种测试，才能说明产品的质量。成熟的设计一般工作比较稳定，不容易出现问题，新设备在设备配合上、干扰等容易出现问题。在风险识别时，需要重点考虑这些方面。

（3）产品设计越复杂越容易出现问题，越简单系统越稳定，因此分析系统的复杂功能，重点进行这部分的测试。

（4）使用频率比较低的功能是不容易出现问题的，其路径是有限的。而对于经常使用的功能，可能遇到各种输入条件和多种路径，如果没有测试全面，其出现问题的风险是很大的。

（5）在测试计划时，往往有一些功能由于测试环境不满足而无法测试，而这些不可测的功能可能隐藏着缺陷，对设备的现场运行造成很大的威胁，因此这部分功能最终需要进行测试，不管是在现场，还是制造条件，都是应该被测试的。

14.2.2　风险分析

风险分析是研究那些被识别出来的风险，确定每个风险的可能性及其严重程度，并得到每个风险的风险级别。

测试风险分析是对辨识出的测试风险及其特征进行明确的定义描述，分析和描述测试风险发生的可能性高低、测试风险发生的条件、测试风险的严重程度等。对测试风险分析进行全面管理，从而更好地掌控风险，减少风险所带来的危害。

风险分析是将识别出的风险按照一定的规律分类排序，计算出风险的级别和优先顺序，做出风险评估调查表，并逐条制定风险应对策略。

风险分析的活动如下。

1．确定风险发生因素，分析风险来源

风险来源是引起风险的根本原因，只有明确导致风险发生的因素，才能制定有效的风险应对措施。对于产品测试来说，这些因素包括资源、成本、时间和计划变更等。

2．预测风险影响

根据风险发生的概率和造成的影响程度，确定每项风险的风险等级。风险发生的概率分为5种：非常低、低、中等、高、非常高。风险严重程度分为5种：可忽略、次要、中等、严重、非常严重。

3．按照风险预测评估出的风险等级进行排序

风险级别高的风险，必须制定详细的应对措施，风险级别低的风险，可适当处理。

4．制定风险应对策略

常用的风险应对策略有避免、减少、接受、研究、储备、转移和保护等，为风险应对策略计划详细的风险处理步骤及期望效果，风险发生时按照风险处理步骤进行即可达到风险应对的效果。

产品测试风险分析应主要关注于测试人员风险、测试环境风险、测试产品风险、测试时间风险。

（1）测试人员风险。测试人员的测试技术水平、对被测系统的熟悉程度、对项目需求的理解程度和准确程度；测试人员离职或调离对测试项目的影响；测试人员的态度，能否以用户角度进行测试；对同一功能模块反复测试后出现的疲态和厌倦的情绪，在测试安排中应尽量避免重复的测试，避免出现测试人员逆反和厌倦心理。

（2）测试环境风险。测试人员之间或和开发之间的操作系统配置不一致；测试环境无法按时完成搭建等。

（3）测试产品风险。需求说明书或详细设计说明书内容不够翔实；需求变更频繁且变动较大；测试用例设计不充分，覆盖率不高；验收质量标准不统一，缺陷优先级没有和开发部门达成统一的认识，导致缺陷修复率低；测试方法有误等。

（4）测试时间风险。开发周期的延长导致测试时间不足；开发不能按时完成某些功能的设计，导致部分功能测试不能按时执行；用户或销售要求提前交付产品等。

测试人员可以通过定量或定性的方法确定风险的可能性和严重程度。通常来说，定量分析风险比较困难，而定性分析则相对容易。因此测试过程中通常采用定性的方式定义风险的可能性及其严重程度。我们也可以把定性和定量的方法相结合，将风险发生的可能性和严重程度用相应的数值代替，然后两个值相乘得到一个量化的风险等级，并且与风险阀值相比较。若计算得到的风险级别大于定义的风险阀值，那么需要采取相关的风险应对措施以降低风险级别。我们可以定量地分析已识别的风险，分析风险的影响，并对风险进行排序，不同的风险发生后对项目目标造成的影响各不相同，主要从风险概率、风险影响、风险时间总和考虑，如表 14.1 所示。

表 14.1　风险定量分析取值表

影　响	定　义	判 断 方 法	取 值 范 围
风险概率	风险发生的概率	发生的概率越大取值越大	F_1：0.1～1
风险影响	风险的严重性与影响范围	风险发生后对产品的影响越大、越严重，取值越大	F_2：1～10
风险时间	风险可能发生的时机及风险持续的时间	风险发生的时机越晚，持续时间越长，取值越大	F_3：1～10

在进行风险定量分析时，需要多个有经验的测试人员或专家根据以前相关测试项目经验分别对风险发生的概率、风险发生后的严重性和影响范围、风险发生的原因及持续时间进行评估，为风险设置不同的权值，按照加权平均法估计风险的影响程度。



假定风险发生后对项目的影响程度为 F，则 $F= F_1\times F_2\times F_3$，$F$ 值越大，风险对项目的影响更严重，风险的级别越高。高风险需要利用有限的时间和资源优先处理，且对高风险进行规避。

风险管理应该把主要精力集中在影响大、概率高及可能发生的风险上。

14.2.3　风险计划

在测试策划阶段对风险进行计划是一项必要的工作，在测试策划的时候，根据风险识别和风险分析的结果制定风险计划，针对每个风险的不同特征和影响程度分配人员、资源、应对措施等。只有充分地分析风险和计划风险，并且制定相应的应对措施，这样才能降低产品测试的风险。

风险计划是根据识别的风险与分析结果而制定的，主要说明风险的应对措施，如何处理遇到的问题等。通过风险计划可以了解到预知风险的处理方式，对无法预知的风险进行合理的预防，采取风险意识，紧急处理遇到的风险。风险计划中包含着风险的严重等级，当多种风险同时存在时，其帮助测试管理人员合理安排轻重缓急，从而用以降低风险带来的影响。

风险计划应包括以下部分: 风险标识、风险描述、风险影响程度、资源、时间、应对措施、负责人。

（1）风险标识是对风险的精简描述，言简意赅地说明了风险的内容。从风险标识中，可以了解到风险的含义及影响范围。

（2）风险描述是对风险发生的原因和风险发生时的情况等进行描述，说明风险发生前后的具体情况。

（3）风险的影响程度是指通过风险分析得出的风险严重等级，表明风险出现的概率和影响，以及风险处理的优先级，有利于测试组织管理。

（4）资源是指在风险处理时需要的资源，包括人力、时间和财力等，具有了这些资源才能保证对风险的应对能力，使风险及时得到处理。

（5）时间是指风险处理需要的时间。风险处理需要足够的时间，在风险计划时需要对时间进行评估，保证风险处理的时间。

（6）应对措施是指采取的具体方法，解决风险的实施方案，这部分是比较重要的，关系到风险的处理效果，以及对产品的影响范围。

（7）负责人主要是指测试管理人员。当风险来临时，其能够迅速地整合所需要的资源，及时采取有利的措施，弱化风险，降低风险的级别，减小风险的影响。

风险计划中还应包含一套应急处理措施，用于处理测试中无法预知的风险，当这些风险来临时，按照应急处理预案进行处理，减小风险带来的损失。

14.2.4　风险控制

风险发生是比较棘手的问题，需要我们立即采取措施，消化或弱化风险，按照应对措施进行处理，协调需要的资源，必要时可以进行计划变更，如果测试负责人的风险意识不强，往往会出现“前松后紧”的情况，在测试前期时间比较宽裕，在测试的后期只能通过加班加点来完成。

1. 风险控制方法

如果仅仅对风险进行识别、分析、计划，没有有效的风险控制方法，当风险发生后，其依旧会影响到测试项目的顺利完成。

对于已经识别的风险，有的可以在风险发生之前采取一定的措施来控制，有的则发生后才能采取措施降低风险发生对项目产生的影响。

风险控制的方法包括风险减轻、风险避免、风险转移、接受风险。

- 风险减轻

风险级别由风险发生的概率和影响程度两个因素决定，因此通过降低这两者可以降低风险的级别，当它降低到一个可以接受的阀值时，就认为成功地实现了风险的应对。

- 风险避免

通过调整产品测试计划来降低风险或风险的触发条件，使测试免受影响。这是一种事前的风险应对策略。

- 风险转移

不消除风险，而是将风险转移，功能裁剪是通常的做法，就是将一些测试问题转移至产品的下一版本中再进行处理，本版本中不包含该功能。

对于一些技术难点，可以采用风险转移的措施，如一个开关电源，自己研发可能会出现各种各样的问题，可以直接采购，对采购的产品进行测试，若出现问题，只是开关电源厂家进行处理，节省了产品开发的资源。如产品发布前夕，在某个不是很重要的新功能上发现一个严重缺陷，如果修正这个缺陷很有可能引起某个原有功能上的缺陷。这时处理这个缺陷所带来的风险就很大，于是解决的对策就是去掉那个新功能转移这种风险。

- 接受风险

有些风险，只有等发生后才能采取措施来降低风险发生后对测试项目的影响。面对这种风险，要制订应急计划、风险应急预案，实时对风险进行监控，当发生紧急情况时随机应变。

识别的风险经过分析和评估之后，确认在可接受范围之内，这时可以接受风险。针对应对风险的成本比不应对的成本还要高，也可以接受风险。如果风险无法采取合适的应对措施和活动来避免、转移或者减轻风险，也只能采取接受风险的策略。

2. 风险控制措施

根据测试项目的实施情况，建议从以下几个方面改进工作，降低测试风险，提高产品测试质量。

1）成立产品测试团队，明确管理人员

产品测试团队是独立于产品开发的团队，应尽早成立，并参与产品的需求分析，产品的测试负责人应全程参与产品的设计。只有全面参与了产品的设计才能清楚地了解产品，熟悉产品的开发背景、应用场合、用户需求，立足于用户才能设计出全面的测试用例，进一步保证测试的质量。

2）加强计划与控制

测试计划是对全面资源的合理规划，综合了多种客观因素及预知的风险，对产品测试进行可靠的计划安排。



测试计划还应注意可实施性，注意测试环境准备、测试分析、设计、实施、总结阶段及评审、修改等的时间要求。测试团队还应高度关注计划的执行情况、关注进度偏差和每一工作环节的进展和质量。

产品测试进度如果安排不合理，可能会造成不必要的重复测试，因此，测试经理应参与产品系统工程实施计划的制订，并重点审查产品开发计划安排，审查测试满足的条件，尽量减少产品的重复测试。

3）建立规范的工作制度和测试流程

规范的测试工作制度可以降低测试中的风险，保证测试的有序顺利进行；避免漏测、测错等情况，保证测试的质量。

规范的工作制度是保障测试实施质量的基础，应及早制定易于理解、便于操作的测试工作制度，充分倾听来自设计、编码、质量管理、系统与推广支持一线部门员工的意见，注意测试需求获取和分析，以及工作接口的设计。

规范的测试流程保证了测试人员的测试质量，使测试过程得到控制，测试记录有据可查，保证了测试人员与设计人员的有效沟通，使沟通变得高效，避免测试工作陷入停滞状态和测试沟通陷入僵局之中，规范的工作制度避免了这些方面的风险。

在测试中，要善于总结，发现测试流程在运行中存在的问题，不断完善和创新流程，使测试流程向更有利于保证测试质量的方向发展。

4）重视了解产品背景和获取测试需求，确定测试范围和策略

为做好测试需求获取和分析工作，测试、开发、运行、业务等要建立良好交流合作关系。测试项目实施中，应由测试经理与有关部门统筹协调，组织测试设计、实施人员与开发人员一起讨论并明确业务需求和测试需求，确定测试策略和测试方案。

当然，测试人员必须坚持自己的全局视角和技术高度的考虑，尽量合理地确定产品测试的范围、测试平台、测试环境、测试策略等重要内容。

对于一项新的测试需求，测试人员应注意向有关人员了解清楚，特别是用户，如测试需求说明是否准确全面；具体测试环境、产品版本是否具体全面；业务需求和设计文档是否齐全；产品是否完成前期测试，是否具备测试条件；测试时间要求是否合理。合理控制测试范围，准确制定测试策略是控制风险的前提。

5）提高测试分析、规划和设计能力

测试分析、测试内容规划、测试设计是控制测试风险，提高测试质量的关键。

建立系统化的思想，熟悉应用系统架构。产品的局部修改也要考虑其对整个系统的影响，以及密切关注产品修改对其他相关功能的影响。

根据不同的测试目的选择测试用例，合理规划测试内容，在有限的时间里，实现可靠的测试，达到测试的质量。

测试规划应具有整体性，对产品测试要按工程需要进行整体规划，体现资源节约。测试用例复用的思想，同时便于集中精力做好关键环节的测试设计。测试内容和安排应在充分性、测试成本和质量之间找到平衡。

测试设计是建立在对产品的充分了解和对资源的掌握之上的，通过测试设计，达到资源的合理配置，保证测试的顺利进行。

6）进行测试工作评审

在测试过程中，对测试工作的评审是很有必要的，评审使大家建立在一个基本的共识之上，对测试用例、测试计划、测试问题达成一致意见，发挥每个人的智慧，把测试工作做好，测试工作评审可以很大程度上降低测试风险。

在测试中，主要对测试计划、涉及多部门的测试方案、测试报告进行管理审核，且应对测试需求分析、测试方案、测试案例、测试结果、测试报告进行技术评审，评审能聚集审核者的智慧，发现测试中存在的关键和全局性问题，监控测试结果的准确可信，把测试风险控制在可控范围内，使测试风险降到最低。

7）应对测试人员风险

测试工作是由具体的测试人员来完成的，测试人员的调动，对测试工作会带来很大的风险。在测试工作中需要增加培训，对项目的背景、标准、测试方法等进行培训，提高测试人员的整体测试水平，对关键技术岗位培养后备人员，做好人员流动的准备。

通过技术培训，使测试团队具有较好的技术水平及系统分析能力，使每个测试人员都可以开展项目的测试，避免因人员流动带来的风险。

8）应对时间进度风险

根据测试用例的优先级安排测试工作，使可能出现问题的测试用例首先得到测试，提前暴露产品的缺陷，为产品的修改争取更多的时间。

合理规划并行测试任务，压缩测试时间。使可以同时进行测试的项目，同时进行，比如：振动测试和外壳防护测试，可以并行进行测试，两者互不影响，产品的一个部分进行振动的同时，其他模块可以去进行外壳防护测试，为产品的测试赢得了更多的时间。

在测试中可能遇到紧急情况（如测试设备的故障），在这种情况下无法进行测试，此时就需要进行及时的调整，测试其他项目，不应使测试停滞下来，等待测试设备维修。

9）应对产品缺陷风险

产品缺陷总是存在的，因此风险也总是存在的，而且一些风险也是不可避免的。产品测试项目风险的管理致力于尽早地发现测试中已经存在的或是可能出现的风险，尽可能地降低或是避免发现的风险，最大限度地保证产品的质量。

有些缺陷不容易被发现，即使偶然发现了也很难复现，而由此引发的其他缺陷也往往被忽略。对于这类缺陷开发难以下手修改。如果此类缺陷在产品中比较多，集合起来可能会导致严重的后果。对测试中不易重现的缺陷，要通过提高测试用例的覆盖率来降低这种风险。

测试用例需要尽可能地覆盖现场所有业务，只有通过提高测试用例覆盖率，综合考虑设备现场可能出现的场景及输入条件，结合不同使用用户的需求对产品进行测试，这样才能减少产品缺陷，尽可能地降低产品缺陷的风险。

回归测试会为产品带来风险，它分为不完全回归测试和完全回归测试。在项目紧张的时候一般都是采用不完全回归测试，这就会为产品埋下隐患，因为不可能对产品修改引起的影响范围做出非常准确的判断，在测试中就会出现测试不全面；在时间空余时，最好采用完全回归测试，以降低产品修改引起的测试风险。

14.2.5　风险跟踪

在测试过程中，需要对预知风险的状态进行跟踪，监视风险的状况，有利于当风险状态发生变化时，及时采取措施，并对措施的效果进行跟踪，从而实现对风险的控制。

测试中可能出现未识别的风险，一旦发现，需要采取应急措施，及时纳入到风险跟踪管理之中。

风险跟踪过程的活动主要分为两种情况。一是在风险还未发生时监视风险的状态；二是当风险已经发生时立即启动风险应对措施。它包含以下内容。

1．衡量风险发生评估标准

某些风险是否发生可以用量化的标准来判断，监视这些量化指标就可以取得风险的状态。如果指标低于风险发生阀值，则表明风险尚未发生，反之表明风险已经发生。

2．应对已经发生的风险

及时报告风险，跟踪人员必须及时通知相关部门、人员，风险已经发生，启动风险应对措施，协调和安排人员进行风险应对。

3．监视风险状况

在测试过程中，需要对风险的实时状态进行了解，这样才能更有效地控制风险，进行风险应对，监视风险的状态，使对风险的管理变被动为主动，有利于对风险的管理。

风险跟踪是对风险应对措施的效果验证，如果效果不好，就需要寻求其他的措施对风险进行控制。

风险跟踪是为了更好地进行风险管理，以对风险进行防御和避让，或者是对已经发生的风险采取措施，使风险的影响降到最小，保证测试的质量和测试的顺利进行。

风险跟踪需要对风险的输入条件进行监控，及时了解这些条件的变化，观察其是否会引起风险的发生。风险的发生一般是有必要条件促使的，对这些条件的监控会起到对风险的监控作用。通过输入条件的变化，计算风险出现的概率，以进行进一步的措施，实现对风险的有效管理。

14.3　小结

测试过程中的风险是客观存在的。风险管理的目的是对风险进行识别和控制，采取针对性的措施，避免风险的发生，或者是将风险的影响降到最小。

风险管理需要改变测试项目的管理方式，建立防患于未然的管理意识，结合具体实践工作，不断地分析遇到的风险，总结各种风险的应对措施，降低风险的影响，提高产品的质量。

风险管理一般包括风险识别、风险分析、风险计划、风险控制、风险跟踪 5 部分。风险识别是对测试过程中的风险进行预测，找出测试中可能出现的风险。风险分析是对识别出来的风

险进行分析，分析风险的触发条件和造成的后果，通过风险计划，制定适当的遏制措施，以使在风险的初期得到控制，减少风险对测试的影响，保证测试的顺利进行，保证产品的测试质量，在测试过程中及时对风险进行跟踪，了解风险的实时状态，指导下一步采取的措施，通过风险跟踪，实现对风险的有效控制。

风险管理体现了测试管理人员处理风险的能力，通过风险管理提高测试管理人员对风险的预知能力和应对能力，提高测试管理水平。

风险管理是贯穿于产品测试管理之中的，测试管理无非是对测试的进度和质量进行管理，另外一块比较重要的就是协调处理测试中的异常情况，这正是风险管理的范畴。

有效的测试风险管理，可以保障测试活动的顺利进行，提高测试人员的测试水平，促进整个测试团队建设，提高产品的测试质量，从而促进产品功能的完善，提高产品的质量。

第15章

财富库建设与管理

本章主要介绍财富库的建设与管理基础、范围及现实意义，分别从财富库的建设、管理、共享等方面介绍财富库相关技术。

财富库是一个广义的概念，任何可以被重复使用或修改使用的方法、技巧、活动等都可以纳入财富库。针对测试而言，财富库主要指通用的测试用例、方法，还可以是测试活动的规划、策略及测试中对紧急事件的处理，通过对财富库的积累，可以帮助提高测试人员的测试水平，提高对测试活动的策划协调能力，进一步提高产品的测试质量。

财富库建设是一个逐步积累的过程，是经验总结的过程，使后期的测试活动可以很方便地调用，加速测试进程，提高测试的全面性。

财富库的建设目的是为了更好地使用，更好地为测试活动服务。因此在建设时，需要进行提炼，从测试中提炼通用的方法、技巧，在进行通用的产品测试时，可以直接调用。财富库的建设需要脱离测试主题，不要依赖于测试对象，只需要说明在进行什么功能测试时，怎样测试或者需要进行哪些方面的测试即可。

正所谓“知识在于积累，成功源自总结”，在测试中，我们把测试方法、思路、技巧进行总结归纳，形成财富库，当我们进行测试活动时，进行调用和修改，可以大大提高测试的效率，还可以根据以往测试经验，迅速定位产品中可能存在的问题，促进问题的修改，提高产品的可靠性。

财富库需要及时进行更新和补充，使财富库越来越充实，提高实际测试活动的指导意义，保证测试活动的顺利进行。

在使用财富库时，需要将之细化、调整，使其适用于即将进行的测试活动。在财富库管理中，财富库的使用是比较重要的，如果财富库进行了积累，而没有进行合理的使用，那也是没有任何意义的。

本章将重点介绍财富库的建设、维护和使用技术。

15.1 概述

财富库是指一切可以共享的资源，其可以被复用或进行修改调用，也可以极大地提高测试的效率，减少产品的测试成本。

财富库的内容一般包括定义类财富、实施类财富和管理类财富，其范围是比较广泛的，大

到测试流程体系，小到测试方法技巧，都可以纳入财富库之中，获得共享。

测试财富库包括测试过程财富库和测试文档库。测试过程财富库记录了测试过程中遇到的风险、出现的问题、成功的测试方法、测试的不足等，这些信息都为新项目的测试提供数据支持，促进新项目的测试效率和质量的提高；测试文档库提供了有用的测试文档，在新项目测试时，可以进行调用，减小测试的时间，提高测试的效率。

财富库的建设具有重大的实际意义，对新项目的测试、测试团队建设、测试流程体系完善、测试风险控制等都发挥着积极的指导作用。财富库建设是一个长远的、惠及个人和公司的重要任务，它的建设需要坚持，这样才能获得较好的收益。

15.1.1 财富库建设与管理基础

财富库是指一切可以被复用或调用的资源，财富库的范围是比较大的，可以是测试计划中的测试策略，也可以是测试用例中的方法、标准、环境布置，还可以是测试过程中对风险的处理措施，或者是产品的测试程序等。

测试策略是对测试活动的整体安排，融合了多方面的因素，包括产品标准、规范、时间、人力资源、测试设备等，对这些因素进行汇总，制订可行的测试计划，保证测试活动的顺利进行，结合测试执行过程中的成败经验，提炼成通用的要求准则，也就是财富库的范畴。

测试活动离不开测试用例，测试用例脱离不了测试方法、标准、测试环境，这些都是具有继承性的，特别是同一行业内的产品，要求基本上是一样的，复用的概率是很大的。产品系统一般都具有电源端口、信号端口、通信端口，对这些端口的要求是一样的，因此，可以把针对这些端口的测试方法形成财富库，减少了测试用例的编写时间，提高测试的效率。

测试中的风险管理是对测试中出现的异常情况进行处理，使风险的影响最小，保证测试活动的顺利进行和测试的质量。测试风险是基于某些条件出现的，对这些条件进行分析总结归纳，可以从一定程度上避免此类风险的发生，对以后产品的测试是非常有利的。

产品的测试程序是对产品的某项功能、接口、性能进行的测试，可以用于产品的初始检验，也可以发现产品的某些异常，为产品的全面测试打好基础。

财富是指所有具有共享价值的资料，其可以被其他测试活动复用。一方面可以提高测试效率；另一方面可以提高测试的全面性。在一个项目中出现的问题，可以避免在其他项目中出现同样的问题，通过长时间的积累，一定意义上提高了产品的测试质量。

财富库中的内容是比较广泛的，一般的财富库内容包括：定义类财富、实施类财富、管理类财富，如图 15.1 所示。

（1）定义类财富主要包括规程、文档模板、标准、规范。产品的检验规程、调试规程、老化规程都可以作为财富进行管理，相关的产品可以借鉴；文档模板提供了文档的一个通用框架，其他产品是可以直接使用的；标准规范一般是一类产品的要求，如通信产品、信号产品等。一类产品都需要遵守其相关的标准规范。

（2）实施类财富主要是测试过程管理和风险管理。测试中可以遇到一些异常情况，且其影响了测试的进度和质量，因而我们可以在新项目的测试中尽量避免，对风险进行控制，减少风险的影响。测试过程主要是对测试资源的协调及对测试问题的处理，其思想可以应用在其他项目的测试中。

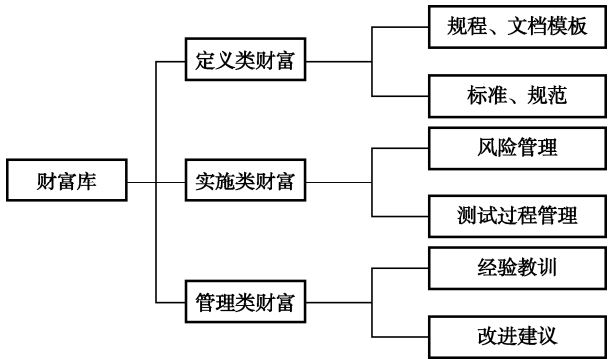


图 15.1　财富库内容框图

（3）管理类财富包括经验教训和改进建议。测试过程中的经验可以进行推广，吸取以往教训，对新产品的测试是非常有利的，改进建议对测试流程和产品的功能完善是很有帮助的。

建立财富库的目的如下。

（1）为测试活动的执行提供指导，保证测试活动的效率和质量。

（2）为持续性的测试过程改进提供依据和参考。

财富库可以使后期的测试少走很多弯路，避免出现之前遇到的问题，或者是尽快发现相似系统的相同缺陷，快速定位问题。

实际的测试过程是一个需要持续改进的过程，需要结合每次测试过程中遇到的各种情况，对测试过程进行完善，使测试过程更趋向于合理，使测试获得更大的成功。

15.1.2　财富库建设与管理范围

测试财富库包括测试过程数据库和测试文档库。

1. 测试过程数据库

测试过程数据库是为了搜集测试过程中相关的数据而建立起来的数据库，包括产品的工作量、风险、缺陷、进度、测试的范围和效率等。使用测试过程数据库的一个重要的目的就是帮助制定新的测试计划，为新产品的测试提供数据支持，并依此制定合理的测试计划。

（1）工作量是指实际测试花费的时间，包括测试策划阶段、测试计划的编制、测试用例的编写、测试执行，以及测试记录、测试报告的整个整理过程。

（2）风险是指测试过程中遇到的异常情况，影响测试进度和质量的事件都可以认为是测试风险，这里的风险是指已经发生的，不是预测的，对新项目的测试有很好的参考意义。

（3）缺陷是指产品测试中出现的问题，有些问题是具有通用性的，比如用户界面、电源端口的处理等，在其他系统中可能也会遇到。对缺陷的统计与分析，有利于快速定位其他测试项目的问题，提高测试的效率，加快测试的进度。

（4）进度包括测试的开始和结束日期，它可以与测试计划中的有所偏差。根据实际进度对测试计划进行调整，使测试计划逐步完善，贴近实际。

（5）测试的范围是指产品的测试项，在测试中对哪些测试项进行了测试，与之花费的时间是相对应的，在测试中，测试项与用的时间是确定的，对以后项目的测试计划编排有很好的指

导意义，保证测试计划的准确性。

2. 测试文档库

测试文档库是指测试过程中产生的文档，是为了存储对测试有用的过程文档，特别是测试用例和测试总结，为了共享测试文档，为以后的测试参考或借鉴。测试文档库可以减小新项目测试所需要的时间，提高其测试效率。

测试文档库包括测试计划、测试用例、测试记录、测试报告、测试总结等，一次完整的测试，总会或多或少的存在成败得失，对这些方面进行总结，有利于以后的测试实践活动。

（1）测试中的时间一般是按照测试计划进行的，可能存在偏差。对偏离的原因进行分析，有利于对新项目的测试计划安排。

（2）测试过程是对测试用例的执行过程，也是测试用例的完善过程。测试用例中可能与实际测试有些出入，通过测试进行修改调整，进行完善，可以指导新项目的测试。

（3）测试记录中可能记录了测试过程中的一些亮点和产品的一些细节，对产品的开发来说是不可多得的财富，测试细节可以隐藏着产品的设计逻辑问题，帮助产品功能完善。

（4）测试报告是对测试过程的总结，描述了测试中发现的问题、测试用例的执行情况、建议及结论，对产品的回归测试具有指导意义，在产品的回归测试中需要对这些问题进行验证，对测试用例的执行情况进行评估。

（5）测试总结记录了测试过程中成功的经验，包括采取哪些措施以降低风险带来的影响、运用了哪些测试方法发现了产品中的严重缺陷，以及如何保证测试的质量和效率，也包括哪些活动导致了测试的延期和返工，这些都是宝贵的测试财富，对于提高测试人员的技术水平和管理水平都是非常有利的。

15.1.3 财富库建设与管理意义

财富库建设与管理的主要目的是为产品的测试积累经验，避免出现返工及延期，影响测试的效率和质量，财富库的建设与管理是为了最大限度地共享测试成果，提高整个测试团队的测试水平。

财富库的建设是测试成果总结的过程，对个人也是一个测试水平提高的过程，发挥积极方面的活动，避免消极的负面活动，提高自己对问题的定位能力及分析能力，在以后的测试中少走一些弯路。

财富库建设尤其对整个测试团队、对公司是具有重大意义的。财富库的建设可以使测试团队得到提高，使成员进行了互相学习交流，提高了测试技巧，拓展了测试的思路，促进测试团队建设。财富库的建设使产品的缺陷、风险、问题得到共享，公司的产品可以在此基础上进行完善，而不必从头摸索，耽误很多时间，为公司节约了巨大的成本和资源。

财富库体现继承和共享，可以使测试人员以最小的投入，获得比较大的收益，对公对私都是有利的。对测试财富的复用，极大地提高了测试的效率，在此基础上进行的测试，其测试质量更高，更能发现产品设计缺陷。

财富库的建设有利于新项目测试活动的开展，利用测试财富库的数据，更能迅速地进行测试计划、风险识别、发现产品问题缺陷，提高测试的全面性，提高测试覆盖率，进一步保证了

产品的测试质量。

财富库的建设减少了对刚入职测试人员的培训成本，使其能快速地对公司的产品测试进行熟悉，了解测试方法和技巧，快速融入新产品的测试中。公司培养一个人，成本是很大的，财富库的建设，减小了这方面的成本。

财富库的建设注重过程文档的输出，有利于对测试过程的控制，通过财富库的建设平台，使大家得到了充分的交流与沟通，共同学习，共同提高，为产品的测试贡献最大的力量，实现自己的价值。

财富库的建设促进测试流程的完善，通过分析测试过程的成功方面和不足，完善测试流程体系，使测试流程更合理、更完善、更能适应公司产品的测试，保证测试活动的顺利进行，促进测试质量的提高。

完善的测试流程可以使测试人员的主观能动性发挥到极致，使测试人员都能以积极的态度去面对测试，对提高产品的测试质量是非常有利的。在测试中开展探索性测试，可以在很大程度上提高产品的测试质量。否则，测试质量是很令人担忧的，是很不理想的。

完善的测试流程可以促使测试问题缺陷得到有效的传递，使相关干系人得到有效的沟通，保证测试活动的顺利进行。

财富库的建设使测试中的风险得到有效的控制。新项目在测试中，对已知的风险采取积极措施，避免风险的发生，可以做到有效的防范，保证测试活动的顺利进行。

财富库的建设提高了产品的测试质量，使产品容易出现问题的方面得到了测试。采取了以往的测试方法和技巧，使产品的测试站在一个比较高的基础上进行，提高了测试的全面性，保证了产品的测试质量。

15.2 财富库管理技术

财富库管理技术主要包括财富库建设、财富库管理、财富库使用三个方面，三者之间是互相促进、互相制约的关系，如图 15.2 所示。

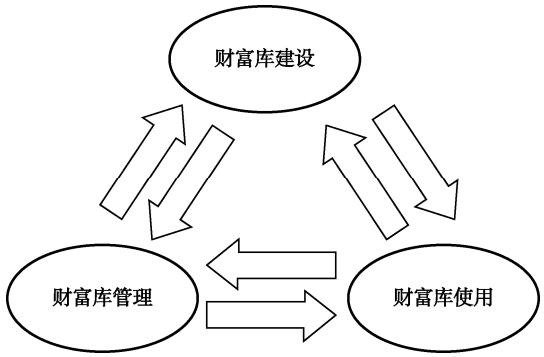


图 15.2　财富库建设、管理、使用三者之间的关系图

财富库的建设是基础，通过财富库的建设，使财富库的内容比较充实，通过财富库管理，保证财富库持续地被补充完善，促进财富库的使用。

财富库的管理是保障，只有通过财富库的有效管理才可以使财富库发展壮大，才能更好地被使用，发挥财富库的作用。

财富库的使用是结果，只有财富库被合理使用，其作用才能真正发挥出来，才能反过来促进财富库的建设与管理。

财富库的建设是一个长期的过程，需要所有测试人员共同来参与，每次测试过程中的成败得失都需要积极的整理，使其成为有价值的共享信息，并将其放入财富库中。

财富库的管理是为了保证财富库的正常运转，保证财富库得到及时的补充和完善，保证财富库被大范围的使用。

财富库的使用主要是根据新项目的特点，对财富库中的内容进行取舍，找出适合新项目的信息或者是可以借鉴的信息，将这些信息应用在新项目的测试中，从而降低新项目的测试成本，提高其测试质量和效率。

财富库的建设、管理与使用应该纳入测试流程之中，这样财富库的作用才会逐步得到显现，通过建立财富库的良性循环过程，发挥财富库对测试的重大作用。

15.2.1 财富库建设

财富库建设是一个基础的、长期的过程，任何有共享价值的资料都可以纳入财富库，在测试过程的各个阶段都可以进行细化、论证，为新项目的测试提供数据、来源和支持。

财富库的建设一般是在测试完成后，对各个测试阶段的成败得失进行总结，汲取有价值的经验，归纳成功的措施，分析失败的原因和教训，获得最大的收获。

测试完成后，验证测试计划是否合理，测试是否按照测试计划完成，可能出现超前、正常、滞后等情况。超前需要分析原因，是测试估计出现偏差，还是某些测试无法测试。如果是测试估计出现偏差，那么在以后的测试中可以进行调整；如果是测试项无法进行测试，是对测试资源的分析出现问题，以后加强测试资源的分析，保证测试计划中的内容都进行了测试。

财富库融合了测试人员各方面的经验教训，包括测试工作的计划、对风险的控制、测试方法、测试处理、返工的原因、测试滞后的分析等。如果测试按时完成，则说明测试计划比较合理，测试过程中各种资源都及时的协调起来，测试顺利进行。也可能是出现了偏差，通过加班保证了测试的按期完成。如果是后者就要分析原因了，是什么原因阻碍了测试的进行，是偶然因素还是必然因素，通过哪些方法可以避免，有新项目测试时需要注意哪些因素等。如果测试滞后了，就要好好分析原因了。测试滞后有可能是主观的原因，也可能是客观的原因。主观的原因主要有测试效率低、对产品认识有偏差等，这需要提高测试人员的主观能动性，使其全身投入到测试中，加强对测试产品的学习。客观的原因主要有人员分配不合理、测试设备故障、测试对象出现了较多的问题等，人员分配的原因可以通过测试管理来解决，安排最有利的测试人员进行测试；测试设备故障是无法预知的，属于测试风险，测试设备故障时，需要及时地进行维修，使其影响最小；如果产品出现了较多的问题，与项目组确认后，需要继续进行测试，避免测试版本的改动，测试完成后，再集中修改，否则测试的质量无法得到控制，产品的修改需要重新进行测试，造成测试计划的延迟。

测试用例是重要的财富，有相关的技术在专门研究测试用例的复用技术，测试用例的复用属于财富库的建设范围，其极大程度上减小了测试用例的编辑整理时间，降低产品的测试成本。



对一些通用的测试用例，如电磁兼容测试，测试用例中描述测试方法、测试标准、测试对象，在测试用例编辑时，可以不针对具体产品，使其达到通用的目的，这样相关的产品都可以使用，实现测试用例复用的目的。

用户界面的测试用例也可以整理成通用的测试用例，同行业的用户界面要求是一致的，不同产品其对图形的显示、运行记录、报警框、按钮等具有相同的规范要求，因此测试用例可以整理成通用的，各个项目在测试时都可以拿来使用，从而提高了测试效率。

测试过程是对测试用例的执行检验过程，它可能会出现需要修改或补充的地方，或者可能发现测试用例没有测试全面，因此需要及时地完善测试用例，使测试用例更全面，更能测试出产品的质量。

探索性测试有利于产生新的测试用例，有时比较容易发现产品的问题，基于探索性测试产生的测试用例对产品的测试更具有针对性。

测试执行过程非常重要，一切的测试用例、思路、想法都是要通过实践测试的，测试人员发挥主观能动性，才能达到满意的效果，持有怀疑态度和问题的敏感性对产品的测试是非常有利的，因为往往是一些问题的疏忽而造成现场的重大影响。

发现问题的过程可以整理成财富库中的内容，描述是什么条件下出现的、测试操作的具体步骤、设备的表现是怎样的、预期的表现是怎样的，对其他产品的测试都是一种借鉴。其他产品可能出现同样的问题，有利于对产品问题的快速定位。

测试过程中的问题是需要重点描述的，同样的问题可能在不同的产品中出现，对问题的强化有利于对新产品的测试。测试过程中的风险控制是财富库中的重要内容之一，测试过程中出现的风险、影响方面，以及采取的措施，都是重点总结的对象，在新项目的测试中可以严加防范，防止此类风险的发生，保证测试的顺利进行。

测试执行过程中可能采取新的测试方法和思路对产品进行测试，在测试完成后就需要进行归纳，这些方法与思路有可能应用于其他产品的测试中，对新产品的测试是很有利的。

测试记录主要记录了测试的执行过程，对产品的测试步骤和表现进行了描述。测试用例可能对测试步骤没有细化，在实际测试时，采取了具体的测试方法，则可以将其补充到测试用例中，在相关的测试中直接使用即可。

测试记录对设备的描述也是比较重要的，不同的测试设备可能产生不同的测试结果，新项目的测试可以借鉴其测试工具、设备和仪器。测试记录描述了测试参加人员及进行的相关测试，这些数据可以为新项目的测试提供依据，以使得测试人员很快地熟悉产品、进行测试，提高测试的效率。测试记录对测试环境进行了描述，有时产品有多种工作模式，那么在测试时，需要对各种模式进行测试，对产品的回归测试具有指导意义。

测试报告是对整个测试活动的总结，测试报告中重点叙述了测试用例的执行情况和测试问题，对产品本身来说是重要的财富，对其他项目也起到参考作用。测试报告中的建议部分可以在产品升级完善时考虑，建议代表测试人员或者说是用户的体验，可以实现对产品的优化。

测试总结是产品测试的最后一个环节，是与测试任务本身关系不紧密的一项活动，但对于测试人员和团队来说是具有重大意义的。

测试总结是不可多得的财富，对本产品及其他产品的测试具有很好的指导意义。测试总结包含了测试问题的整改过程、测试技巧等，其是具有通用性的，在新项目的测试中是可以借用的，可以节省大量的整改时间。

测试问题的整改过程往往是很花费时间的，如产品的电磁兼容测试、雷电测试等，出现问题的原因查找起来是比较困难的，往往需要通过反复的测试，才能找到问题的原因，问题的原因其实并不是很复杂，这些都是测试的经验，对个人和测试团队都是很有价值的。

一些无法验证的问题，其解决概率几乎为零，只能在产品使用中重点关注，一旦重新出现，则对其触发条件进行分析，查找原因，及时将其纳入到财富库中，使其他项目避免出现类似的问题，或者帮助其他项目进行相关问题分析。

财富库的建设是一个持续的过程，每次测试完成后，都需要及时进行总结归纳，将有用的、有价值的信息进行整理，进行分类入库，从而便于使用。

测试财富库可以分为计划类、用例类、风险类、整改类、技巧类等，对于不同的有价值信息分别存放。在新项目测试之前，首先到财富库中借鉴相关的信息，再根据产品的特点进行完善，根据功能和性能的要求，补充测试用例，识别新的风险。

对测试财富库的使用，大大地提高了测试工作的效率，在一定程度上提高了产品的测试质量，使之前遇到的问题得到暴露，对测试中的风险进行有效的控制，保证了测试活动的顺利进行。

测试财富库为产品建立了一个交流平台，大家都可以到财富库中寻找有价值的信息，但是每个人都有义务对其进行补充，补充新的测试成果，提供测试问题及数据，使测试财富库逐步壮大，这样才能有更多的价值信息被使用，充分发挥财富库的作用。

财富库的建设需要相关的每个人共同努力，将测试工作中的有价值信息提炼为测试财富，正所谓“三个臭皮匠，顶个诸葛亮”，只有充分调动大家的积极性和创造性，才能把测试财富库建设好，才能服务于大家。

15.2.2 财富库管理

测试财富库的建设是首先进行的，测试财富库建设后，需要通过适当的管理，才能保证测试财富库中的内容被有效的使用，发挥财富库的作用。

测试财富库的建设和管理需要专人负责，一般是测试的领导，这样才能调动测试人员的积极性。可以制定一些制度，将测试财富库建设纳入绩效考核之中，保证测试财富库的建设效果，也可以通过测试文档管理软件进行管理。

财富库的建设需要通过制度来保障，在建设初期，可能存在一些抵触心理，但当被认为是一项工作时，就会积极地参与到财富库的建设之中。

测试财富库的管理主要是指财富库的日常维护、财富库补充完善、财富库的备份、财富库的使用。

（1）测试财富库的日常维护主要是对大家提供的信息进行审核，避免产生歧义，影响使用。对财富库的信息进行分类，使相关的信息都在一个类别中，方便使用人员进行查找。督促测试人员及时对财富库进行补充，一般一个测试任务完成后，就需要进行总结归纳。

（2）财富库的补充和完善是非常重要的，这样才能保证财富库中的内容更加充实，有利于测试人员的使用，促进财富库建设与使用之间的良性循环，保证财富库被积极的补充和有效的利用，发挥财富库的积极作用。

（3）财富库作为产品测试和公司的重要财富，必须得到备份，保证财富库的安全，防止意



外丢失，造成比较大的损失，应该由专人负责，及时得到备份。

（4）财富库中的内容必须合理使用，严禁非法使用，用于非法目的。财富库使用应该有使用记录，定义不同测试人员的权限，不允许更改财富库中的内容，只允许修改自己提交的内容，保证财富库的安全。

财富库作为大家使用和交流的平台，其管理是非常重要的，是为了保证财富库的良性循环，使其更好地为大家所受用，发挥财富库的作用。

财富库服务于产品的测试，其应该符合产品的需要，并对一些不能满足产品测试需要的理论及时清理，使财富库保持更新，适应产品测试的需要。

财富库管理的重点是财富库的补充和完善，只有保证了充实的财富库内容，才能促进财富库的大范围使用，否则，财富库只是一种形式，起不到真正的作用。

财富库的建设与管理是一项全面的工作，涉及与测试相关的每个人，只有大家共同努力，才能把财富库建设好、管理好，才能发挥财富库对测试的有利作用。仅仅靠某个人是不可能建设起来的，财富库凝聚了许多人的心血，但它也会让这些人收益，对新项目的测试工作起到积极的作用，促进对测试问题缺陷、风险、质量等方面的有效控制，有利于达到满意的测试效果，另一方面也促进产品的改进。

财富库的建设与管理是一项长期的工作，在较短的时间内，可能无法显现其作用，但从长远来看，财富库的作用是巨大的，对产品的测试是非常有利的，对提高产品测试的效率、缩短产品的测试时间有着积极的作用。

财富库只有及时补充完善，合理维护，才能发挥真正的作用。财富库管理对财富库的使用具有重大的意义。

15.2.3　财富库使用

财富库建设和管理的目的是为了更好的使用，更好的发挥财富库的测试推动作用，体现财富库的共享价值，财富库的使用不仅仅是“拿来主义”，还包括相关的扩展、与被测产品的结合与分析。

财富库在使用时，需要按照一定的原则对财富库中的内容进行合理取舍，保证新项目测试的有效借用。财富库对测试活动各个阶段都可以起到积极的作用，帮助拓宽测试人员的思维，指导测试人员进行测试活动。

在新项目的测试计划时，可以借鉴财富库中的成功案例，参考其测试项目和进度，制定比较合理的测试计划，重点分析测试条件和环境是否发生了变化，若没有发生改变，就可以按照其进行计划，如果发生了改变，就需要对这些因素进行分析，重新规划测试时间。

产品的测试时间一般是很有限的，对已有资源、财富的使用显得非常重要，测试计划主要是借鉴测试项及时间安排、测试工作的并行规划等，在有限的时间内对产品进行尽可能全面的测试。

测试用例方面是对通用测试用例的复用。在新项目测试用例设计时，首先设计通用测试项的测试，可以直接从财富库中取来使用，然后根据相关产品的特定要求，进行附加的测试用例设计，在测试策略描述时，就可以参照以往测试的风险和方法，进行处理和规划。

测试用例是测试活动中重要的一项任务，其设计也是比较花费时间的。对财富库中测试用例的调用，可以缩短测试用例的设计时间，针对以往测试问题，可以设计一些针对性的测试用

例，快速定位新产品的测试问题。

财富库中有价值的方法、思路等也应该在新项目的测试中有所体现，这些都是以往通过实践得到的，有利于对新产品的全面测试，可以应用在新项目相关的测试点上，提高产品的测试质量。

测试执行过程可能出现一些问题，结合财富库问题库的分析，有利于对问题原因的查找，促进问题的解决。对于测试过程中的风险，可以采取以往成功的处理方法，保证测试的顺利进行，如果出现的风险是新的风险，则采取积极的应急处理措施，降低风险带来的影响，保证测试的进度和质量。

测试总结主要是对新风险、新方法和新思路的总结，将其归纳为有价值的信息，补充测试财富库。风险主要描述风险的表现和处理措施，以及前提条件，在测试过程中会对这些条件进行监控，了解风险的状态，有利于进一步采取措施。新方法、新思路主要是针对在某个功能测试点上，可以归结为一项测试用例，通过这样的测试可以发现某些设计上的缺陷，这些都是财富库的源泉，测试的宝贵财富。

财富库的使用需要进行裁剪，选择适合新项目测试需要的、通过修改可以使用的、可以借鉴的，通过对共享信息的完善，使新项目的测试更全面、更高效，在较短的时间内，实现满意的测试质量；财富库的使用需要挖掘分析对新项目测试有用的信息，通过合理取舍，才能使新项目得到理想的收益，才能对新项目的测试进度和质量都起到积极的促进作用。

财富库对公司整体测试项目的影响是很大的，每个测试项目在测试时，都需要进行测试计划、测试用例的整理，通过财富库的建设，实现了这些部分的共享，大大提高了工作效率，由于是经过的测试验证，更具有指导意义，提高产品的测试质量。

财富库的建设和管理是整个公司层面的任务，只有充分的引起重视，制定完善的制度，才能保证财富库的正常运行，发挥其重要的作用。

财富库的建设和管理不能仅仅流于形式，否则财富库的使用是很有限的，其作用也不能得到发挥，甚至会阻碍测试的进行。财富库的使用与其建设管理是密切相关的，只有财富库建设和管理完善合理，才能保证财富库的使用，才能促进财富库的“建设-管理-使用”良性循环，使财富库发挥越来越重要的作用。

15.3 小结

财富库是对测试活动中有价值的、具有共享特点的信息进行管理，使其应用在新项目的测试中，用来提高测试效率和测试质量，降低测试成本。财富库中的内容是相当广泛的，不管是测试方法、思路、技巧、标准规范，还是测试规划、测试策略、对风险的有效处理等，都可以形成财富库，进行管理和共享。

测试财富库的内容可以分为测试过程财富库和测试文档财富库，测试过程财富库详细地描述了测试的工作量、风险、缺陷、进度、范围，对新项目的测试计划有一定的指导和参考意义。测试文档财富库主要记录了测试中输出的过程文档，有的可以整理成为模板，直接在新项目的测试中使用，还可以整理为通用的测试用例、方法、思路等，对新项目的测试具有重大的指导意义。



财富库的建设与管理体现了测试经验的积累和共享，对新产品的测试是很有帮助的，大大缩短测试的时间，提高测试工作的效率，也进一步提高了产品的质量。财富库的建设促进了测试流程的完善，提高了产品测试的效率。

财富库的管理技术包括财富库的建设、财富库的管理、财富库的使用，三者之间是互相制约、互相促进的关系。在测试实践中，需要制定完善的制度和流程，保证财富库的良性循环，发挥财富库的重大作用。

（1）财富库的建设是基础性的工作，需要相关的测试人员共同参与，提炼有价值的共享信息，每次测试完成后，都需要进行总结归纳。

（2）财富库的管理是为了保证财富库的建设有序进行，保证财富库的合理使用，使财富库越来越充实壮大，这样才能发挥其真正的作用。

（3）财富库的建设与管理，其作用体现在使用上。在测试的不同时期，挖掘财富库的有用信息，将其积极地应用在新项目的测试中，促进新项目的测试，降低其测试成本，提高测试质量和效率。财富库的建设与管理是持续性的任务，只有保证了财富库的建设与有效管理，才能发挥财富库的积极作用，指导新项目的测试活动。